Agriculture and Agri-Food Canada
Agriculture et Agro-alimentaire Canada

Publication 1902/F

Serriculture en terre et hors sol des concombres sans graines

Canada

Digitized by the Internet Archive
in 2011 with funding from
Agriculture and Agri-Food Canada – Agriculture et Agroalimentaire Canada

http://www.archive.org/details/serricultureente00papa

Serriculture en terre et hors sol des concombres sans graines

A.P. Papadopoulos
Station de recherches
Harrow (Ontario)

Illustration de la couverture
Les neufs mini-serres du complexe de recherche à la Station de recherches de Harrow d'Agriculture et Agro-alimentaire Canada dont la construction a été financée par l'Ontario Greenhouse Vegetable Producers Marketing Board et Énergie, Mines et Ressources Canada (photo : A.P. Papadopoulos).

Publication 1902/F d'Agriculture et Agro-alimentaire Canada
On peut se procurer des exemplaires à la
Direction générale des communications
Agriculture et Agro-alimentaire Canada
Ottawa (Ontario) K1A 0C7

©Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1994
N° de cat. A53-1902/1994F ISBN 0-662-99872-3
Imprimé en 1994 2,5M-03:94

Also available in English under the title
Growing greenhouse seedless cucumbers in soil and in soilless media

Table des matières

Remerciements 6

Introduction 7

Le concombre 8
Origine 8
Taxonomie botanique 8
Port 8
La pousse 9
La racine 9
La fleur 10
Le fruit (à graines ou sans graines) 12
Germination des graines 14
Amélioration des plantes 15

Conditions du milieu 15
Température 16
Éclairage 16
Humidité relative 17
Gaz carbonique 18
Ventilation 18

Besoins nutritionnels 18
Rapports sol-végétaux 18
Le sol comme substrat 19
Structure et texture du sol 19
Réaction du sol (pH) 22
Capacité d'échange cationique du sol 23
Besoins nutritionnels et action des éléments nutritifs 24
  Macro-éléments 26
  Oligo-éléments 31
  Éléments non essentiels 38

Pratiques culturales générales 39
Plan de culture 39
Choix des cultivars 39
Multiplication 40
  Plan de multiplication 41
  Ensemencement des graines et mise en place des semis 42
  Sols et substrats sans sol 42
  Blocs de laine de roche 44
  Régulation du milieu ambiant pendant l'établissement des semis 46
  Repiquage 47
  Éclairage artificiel 49
  Régulation de la température 50

Enrichissement au gaz carbonique 50
Greffage 51
Espacement des plants 55
Taille et palissage 55
Principes généraux 55
Systèmes de taille 56
Systèmes de palissage 62
Choix d'un système de palissage et de taille 75
Éclaircissage 75
Récolte et entreposage 76

Culture classique dans le sol 77
Type de sol 77
Drainage 78
Pasteurisation du sol 78
Submersion et lessivage 80
Matières organiques 81
Réglage du pH 82
Fumure de pré-plantation 84
Travail du sol 85
Arrosage 85
Plan de fumure 86
Paillage 87

Culture dans le sol avec irrigation goutte-à-goutte 88

Culture dans la tourbe et dans d'autres substrats organiques 91
Rigoles 92
Sacs de tourbe 96
Arrosage 97
Alimentation 99
Recyclage 100
Le système de sacs de tourbe de Harrow 101
Sciure de bois 103
Balles de paille 108

Culture dans la laine de roche et autres matériaux inertes 111
Laine de roche 112
Perlite 121
Vermiculite 122
Oasis® et autres matériaux synthétiques 122
Argile expansée 123
Sable et gravier 124

Technique de culture sur film nutritif et autres systèmes hydroponiques 125

Planches I–IV 66–70

Remerciements

Je tiens à remercier le Dr W.R. Jarvis pour avoir révisé cette publication.

Introduction

Presque tous les concombres cultivés aujourd'hui en serre sont les concombres longs sans graines (type anglais ou européen), que nous appellerons ici concombres anglais. Le concombre à graines (concombre ordinaire ou américain), appelé ici concombre ordinaire, était populaire jusque vers le milieu des années 70. Aujourd'hui, on ne le cultive pratiquement plus, bien qu'on trouve encore sur le marché des concombres cultivés en plein champ (surtout importés). Après la tomate, le concombre anglais est la plus importante culture de légume en serre au Canada. Il est surtout cultivé au printemps et à l'automne, mais sa croissance rapide et le bref intervalle entre le semis et la récolte offrent une grande latitude dans la planification des cultures.

La culture du concombre de printemps a toujours été la plus importante, parce que les concombres se vendent plus cher en hiver et au début du printemps et que les plants restent productifs plus longtemps. Le semis a normalement lieu en décembre, la mise en place se fait pendant la première semaine de janvier et les fruits sont récoltés de la mi-février jusqu'en juillet. La culture se prolonge parfois jusqu'à l'automne. Quand les circonstances (éclairage artificiel, serre moderne, producteur compétent) le permettent, on peut commencer encore plus tôt la culture du concombre de printemps pour profiter des prix plus élevés obtenus en hiver. Toutefois, l'éclairage insuffisant des mois d'hiver rend encore plus difficile la culture des concombres primeurs de printemps. D'autre part, la culture de printemps est d'une rentabilité moins certaine parce qu'elle exige des facteurs de production (énergie et main-d'œuvre) plus importants. Le producteur qui doit choisir entre la culture des concombres et celle des tomates a une décision difficile à prendre, parce que la culture des concombres entre en concurrence avec la culture, tout aussi intéressante, des tomates de printemps.

Le choix est plus facile à l'automne, parce que la saison est bien plus courte, le rendement prévu est donc moins élevé et les prix restent normalement assez bas jusqu'à la fin de la saison. La croissance rapide du concombre en fait une culture d'automne intéressante, vu le peu de temps disponible. Le concombre d'automne est normalement semé en juillet, mis en place pendant la première semaine d'août et récolté entre septembre et décembre.

La popularité croissante des poivrons rend le choix d'une culture de serre encore plus difficile pour le producteur qui hésite déjà entre les concombres et les tomates.

Le concombre

Origine

Le concombre provient probablement de l'Inde (pied de l'Himalaya, au sud) ou peut-être de la Birmanie, où le plant et le fruit assument une très grande variété de caractères. Le concombre est cultivé depuis au moins 3 000 ans. De l'Inde, il s'est rapidement répandu en Chine et on dit qu'il était fort apprécié des Grecs et des Romains.

Taxonomie botanique

Le concombre (*Cucumis sativus* L.) appartient à la famille des cucurbitacées, l'une des plus importantes familles végétales. Cette famille comprend 90 genres et 750 espèces.

Les cucurbitacées se divisent en cinq sous-familles : Fevillées, Melothria, Cucurbita, Sicyoïdées et Cyclanthera. Toutefois, les principaux genres cultivés ne se trouvent que dans les sous-familles Cucurbita (*Citrullus*, *Cucumis*, *Luffa*, *Lagenaria* et *Cucurbita*) et Sicyoïdées (*Sechium*).

Le genre *Cucumis* comprend près de 40 espèces, dont trois importantes espèces cultivées : *C. anguria* L. (concombre des Antilles), *C. sativus* (concombre) et *C. melo* L. (melon).

Les principaux autres membres de la famille des Cucurbitacées qui sont cultivés sont la pastèque (*Citrullus vulgaris* Schrad), le melon brodé (*Cucumis melo* L.), la courge et le potiron (*Cucurbita pepo* L., *C. mixta* Pang., *C. moschata* Poir., et *C. maxima* Duch.), et la courge torchon (*Luffa cylindrica* Roem.).

La courge de Siam (melon de Malabar) (*Cucurbita ficifolia* Bouché) est cultivée elle aussi dans une certaine mesure, mais elle sert surtout de porte-greffe résistant aux maladies dans la culture des concombres de serre.

Port

Le concombre se comporte comme une plante subtropicale. Il préfère une température élevée, une forte humidité et un éclairage intense, ainsi qu'un apport constant d'eau et d'éléments nutritifs.

Quand on lui procure un milieu favorable et stable et qu'on élimine les ravageurs, le concombre croît rapidement et produit de nombreux fruits. La tige principale, les rameaux latéraux et les vrilles poussent rapidement. Il faut tailler les plants fréquemment pour ne conserver qu'une seule tige principale, et on palisse les plants à la verticale pour obtenir une ramure optimale qui intercepte le maximum de lumière et permet une ventilation suffisante. Dans des conditions optimales, le plant peut produire à l'aisselle de chaque feuille plus de fruits qu'il ne pourra

soutenir par la suite, quand les fruits auront atteint leur pleine taille, de sorte qu'un éclaircissage peut s'imposer. Si on les laisse porter trop de fruits, les plants s'épuisent, leurs fruits avortent et leur productivité fluctue beaucoup. Une croissance rapide, des tiges épaisses et fragiles, de grandes feuilles, de longues vrilles, un feuillage vert foncé, une abondance de fruits et de grandes fleurs jaune foncé sont autant d'indications d'une vigueur excessive.

Par contre, le concombre est très sensible à des conditions défavorables, et le moindre stress nuit à sa croissance et à sa productivité. Comme les fruits ne se forment qu'à l'aisselle de nouvelles feuilles, une forte taille peut être nécessaire pour stimuler la croissance. Il est préférable d'éliminer complètement les rameaux latéraux affaiblis que de pincer leur extrémité.

La pousse

La tige principale de cette plante herbacée annuelle commence généralement par pousser verticalement, mais prend rapidement un port rampant et pousse au sol comme une plante sarmenteuse. La ramification est du type sympodique (c'est-à-dire qu'un bourgeon latéral pousse à chaque nœud et se substitue au point de croissance principal, qui prend alors une nouvelle position de l'autre côté de la feuille). Les nœuds de l'axe principal donnent naissance à des tiges latérales primaires, qui peuvent, à leur tour, se ramifier, etc. Toutes les tiges sont velues, ont une section transversale angulaire, peuvent devenir creuses à maturité et produisent une seule feuille à chaque nœud.

Les grandes feuilles simples (de 10 à 20 cm pour le concombre ordinaire et de 20 à 40 cm pour le concombre sans graines) poussent sur de longs pétioles (de 7 à 20 cm). Elles ont cinq lobes angulaires couverts de nombreux trichomes, dont le plus grand est le lobe central. À chaque nœud au-dessus des troisième, quatrième et cinquième nœuds, une vrille simple non ramifiée pousse à partir de la base du pétiole. Les vrilles sensibles permettent aux tiges, qui ne peuvent s'enrouler, de grimper sur d'autres plantes ou d'autres objets. L'extrémité de la vrille s'enroule autour de tout support qu'elle rencontre et le reste de la vrille s'enroule en spirale, tirant la plante entière vers le support.

Une coupe transversale de la tige révèle 10 faisceaux vasculaires disposés en deux anneaux. Les plus petits faisceaux vasculaires de l'anneau extérieur (les cinq premiers) sont situés aux angles de la tige. Les cinq autres faisceaux, plus grands, forment l'anneau intérieur.

La racine

Le système racinaire est caractérisé par une racine pivotante vigoureuse, qui peut atteindre une profondeur d'un mètre. Dans l'ensemble, le système racinaire est étendu, mais peu profond. Les nombreuses racines latérales horizontales s'étendent sur une grande distance, produisant

rapidement un réseau dense de radicelles, qui s'établit dans les 30 premiers centimètres du sol et s'étendent normalement plus loin que la partie aérienne du plant.

Certaines racines latérales finissent par pousser vers le bas pour produire un nouveau réseau de racines latérales plus profondes qui assument les fonctions de la racine pivotante à mesure que le plant vieillit. Quand on butte la base des plants et que les conditions d'humidité sont favorables, des racines adventives prennent facilement naissance à l'hypocotyle, ainsi qu'aux nœuds le long des sarments.

La fleur

Le concombre se présente sous une variété de types sexuels. Avant de décrire les formes les plus courantes du concombre de serre, il convient d'expliquer les termes suivants :

Fleur parfaite, bisexuée ou hermaphrodite : fleur comportant à la fois des organes mâles (étamines) et femelles (pistils), mais peut-être pas de calice (sépales verts) ou de corolle (pétales colorés).

Fleur mâle ou staminée : fleur sans pistil.

Fleur femelle ou pistillée : fleur sans étamine.

Plant monoïque : plant qui porte à la fois des fleurs mâles et femelles.

Plant dioïque : plant dont les fleurs mâles sont portées par des pieds différents de ceux qui portent les fleurs femelles.

Plant androïque : plant qui ne porte que des fleurs mâles.

Plant andromonoïque : plant qui porte des fleurs hermaphrodites et des fleurs mâles.

Plant gynoïque : plant qui ne porte que des fleurs femelles.

Plant gynomonoïque : plant qui porte des fleurs hermaphrodites et des fleurs femelles.

Plant à prédominance femelle : plant qui porte surtout des fleurs femelles, mais aussi quelques fleurs mâles.

Plant hermaphrodite : plant qui porte à la fois des fleurs mâles et femelles.

Parthénocarpie : reproduction sans fécondation. Dans le cas du concombre, production, sans pollinisation, de fruits sans graines.

Normalement, le concombre monoïque porte des fleurs mâles et femelles sur le même pied (c'est le cas du concombre ordinaire ou du cornichon). Il se reproduit avec un degré élevé de pollinisation croisée. En conséquence, le concombre ordinaire et presque tous les concombres de

grande culture ont besoin d'être pollinisés, généralement avec l'aide d'abeilles. Il est recommandé d'avoir une colonie d'abeilles pour 50 000 plants.

Par contre, le concombre anglais cultivé en serre est surtout du type gynoïque et, plus rarement, du type à prédominance femelle. Ce type parthénocarpique de concombre n'exige aucune pollinisation. En fait, la pollinisation n'est pas souhaitable, parce qu'elle produit des fruits déformés et pleins de graines, qui ne sont pas commercialisables. Pour éviter la pollinisation croisée par des abeilles de passage, il faut installer des moustiquaires sur la serre, notamment si des concombres ordinaires sont cultivés à proximité.

Tout facteur qui influe sur la croissance, y compris les facteurs du milieu, peut influencer l'expression sexuelle du concombre. Les recherches sur les plants monoïques montrent que la formation de fleurs mâles est favorisée par de bonnes conditions de croissance : température élevée (> 27 °C), longues journées (> 14 h), temps ensoleillé, niveau d'azote élevé et apports d'eau abondants. Des conditions de croissance défavorables donnent lieu à la production d'un plus grand nombre de fleurs femelles. Les hybrides à prédominance femelle réagissent de la même façon aux contraintes du milieu. Par contre, les plants gynoïques (qui n'ont que des fleurs femelles) ne sont pas influencés par le milieu.

La pulvérisation d'activateurs de croissance (hormones artificielles de croissance végétale) peut influencer elle aussi l'expression sexuelle du concombre. Les producteurs peuvent provoquer et maintenir indéfiniment la production de fleurs femelles en pulvérisant à maintes reprises des doses recommandées d'éthéphon sur les plants monoïques. L'éthéphon garantit également la formation continue de fleurs femelles sur les plants à prédominance femelle. Par ailleurs, les sélectionneurs peuvent provoquer la formation de fleurs mâles, même sur les plants gynoïques, en pulvérisant la concentration voulue d'acide gibbérellique. Cette technique fort utile facilite l'autofécondation d'une lignée parentale femelle, qu'il serait autrement impossible de maintenir.

Les fleurs mâles et femelles possèdent des pétales à cinq lobes jaune foncé (fig. 1). Les fleurs mâles, qui poussent sur un pédoncule effilé, se forment généralement en groupes de 3 à 5 aux nœuds foliaires. Chaque fleur mâle a trois étamines, dont deux possèdent deux anthères, tandis que le troisième n'en a qu'un. Les fleurs femelles solitaires se forment aux nœuds de la tige principale et des tiges latérales. Les fleurs femelles ont des étamines atrophiées (petites et non fonctionnelles), mais des pistils bien développés (comprenant trois stigmates bilobés, le style et un ovaire à trois loges). Elles se reconnaissent facilement au gros ovaire qui se trouve à la base du style. Un nectaire annulaire entoure la base du style. Le fruit, qui est un ovaire élargi, ne peut se former qu'à partir d'une fleur femelle ou bisexuelle.

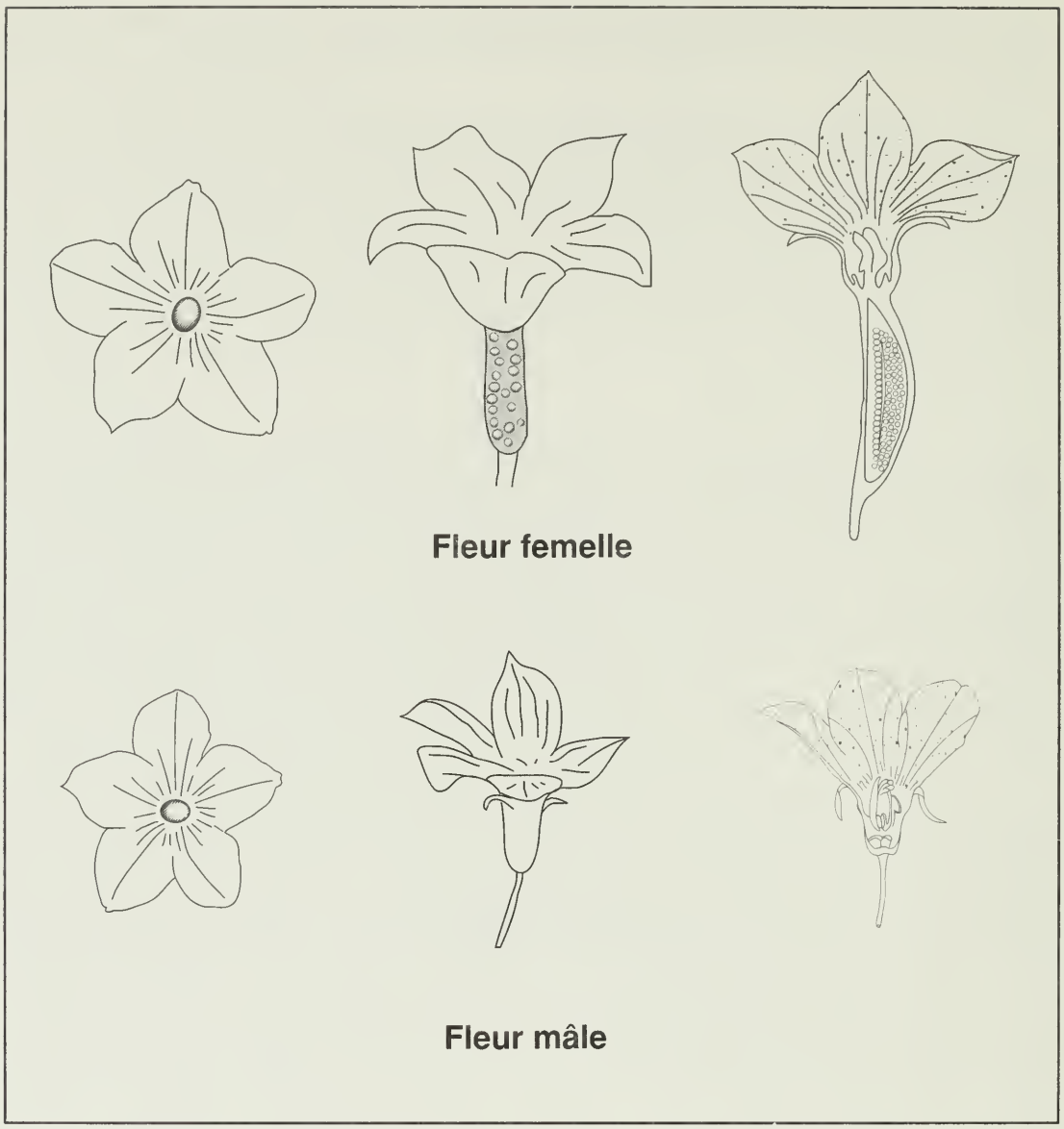

Fig. 1 Variation morphologique et anatomique de la fleur de concombre.

Le fruit (à graines ou sans graines)

D'un point de vue botanique, le fruit est une péponide allongée, de forme ronde à triangulaire. Les dimensions, la forme et la couleur varient selon le cultivar (fig. 2). Dans le fruit immature, la chlorophylle des cellules qui se trouvent sous l'épiderme donne à la peau une couleur verte, mais le fruit devient jaune-blanc en mûrissant. La couche épidermique peut avoir des protubérances pourvues d'un trichome (touffe de poils). La cavité du fruit, à trois loges, contient un tissu mou (placenta) où se trouvent les graines.

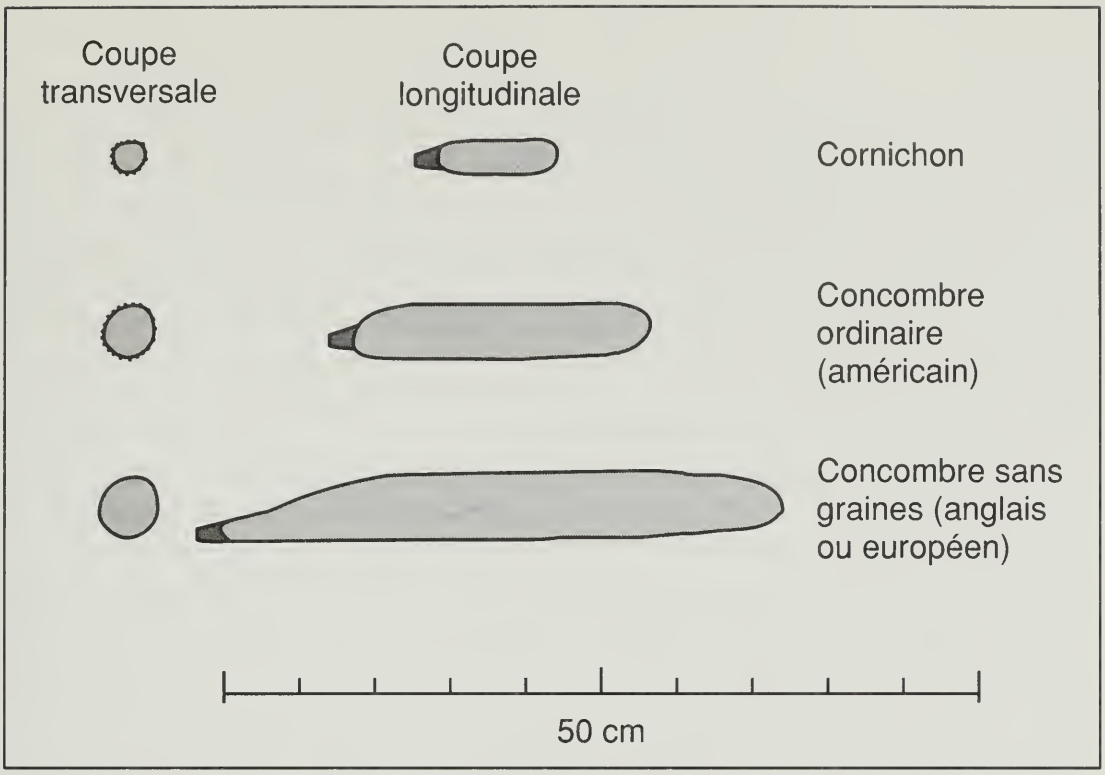

Fig. 2 Dimensions et forme des divers types de concombre.

Le concombre ordinaire (concombre à graines) possède de vraies graines, tandis que le concombre anglais (concombre sans graines) n'en possède pas ou n'a que des graines atrophiées à peine perceptibles.

Le concombre ordinaire est court (de 15 à 25 cm environ) et est cylindrique d'un bout à l'autre. La peau épaisse et vert foncé a des rayures vert clair et une surface rugueuse comportant des trichomes prononcés. La peau a un goût amer et se digère difficilement, de sorte qu'il faut éplucher le fruit avant de le consommer.

Le concombre anglais est long (de 25 à 50 cm environ) et cylindrique, avec un cou court et effilé à l'extrémité pédonculaire. La surface, plutôt unie, possède de légères rides et arêtes. La peau est mince et d'un vert uniforme. Comme elle n'est pas amère, il *n'est pas* nécessaire d'éplucher le fruit avant de le consommer.

Comme le fruit d'autres cucurbitacées, le concombre se caractérise par une forte teneur en eau, qui constitue 95 % environ du poids du fruit frais. Howard *et al.* (1962) ont décrit comme suit la valeur nutritive de 100 g de concombre comestible : énergie – 12 calories, protéines – 0,6 g, graisses – 0,1 g, glucides – 2,2 g, vitamine A – 45 UI, vitamine B_1 – 0,03 g, vitamine B_2 – 0,02 g, niacine – 0,3 g, vitamine C – 12 g, calcium – 12 mg, fer – 0,3 mg, magnésium – 15 mg et phosphore – 24 mg.

Germination des graines

Le concombre est un dicotylédone, c'est-à-dire que sa graine possède un embryon (plant miniature) et deux grands cotylédons (réserve d'aliments pour l'embryon), à l'intérieur du tégument. La graine est relativement grande (elle peut atteindre 1 cm environ) et plate.

On compte environ 28 graines au gramme (800 graines à l'once). Les graines restent viables 4 ans, après quoi leur capacité de germination baisse rapidement. La plupart des maisons de semences utilisent une technologie moderne pour sceller les graines dans des récipients hermétiques remplis de gaz carbonique, ce qui permet de conserver les graines pendant de nombreuses années.

Les graines doivent être plantées à une profondeur de 1 à 2 cm. Vu sa forme, la graine tend à reposer à plat lors du semis. Dans des conditions favorables, la racine primaire prend 2 jours pour sortir du tégument, avant de s'enfoncer plus profondément dans le sol, perpendiculairement à la graine. La racine pousse rapidement et peut dépasser une longueur de 3 cm dès la fin du troisième jour. C'est alors que se forme une excroissance parenchymateuse dans l'angle constitué par la petite partie horizontale de l'hypocotyle et la radicule verticale (fig. 3).

À mesure que grossit cette excroissance, la racine primaire commence à produire des racines latérales et l'hypocotyle s'allonge vers le haut. Les cotylédons restent à l'intérieur du tégument jusqu'à ce qu'ils en soient libérés quand l'hypocotyle continue de s'arquer et de s'allonger et que l'axe se redresse le sixième jour. Cette germination est dite épigée.

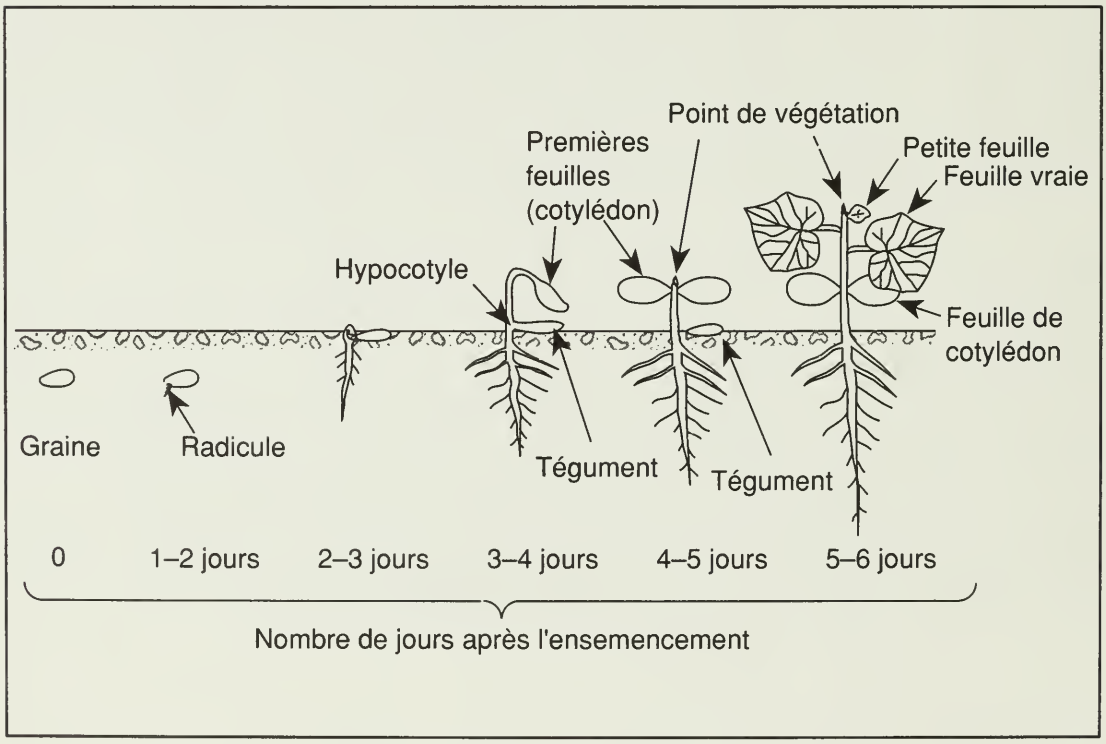

Fig. 3 Germination de la graine de concombre.

Amélioration des plantes

La façon la plus ancienne et la plus simple d'améliorer les plantes a toujours consisté à conserver des graines de plants ayant les caractères recherchés (rendement élevé ou bon goût, par exemple). Cette méthode ne permet d'améliorer les récoltes que s'il existe déjà une diversité génétique et que la plante se reproduise en lignée pure (c'est-à-dire si les caractères recherchés sont transmis sans changement d'une génération à l'autre). Le croisement hétérogène naturel (hybridisation) se produit quand un groupe de plants d'une variété est pollinisé par un autre groupe distinct de plants par la voie du vent, d'insectes ou d'autres moyens naturels. Toutefois, comme la nature met généralement trop de temps à engendrer la variabilité, les sélectionneurs ont généralement recours à des moyens artificiels.

L'hybridisation artificielle consiste à croiser entre eux deux ou trois parents dont on recherche certains caractères. Les sélectionneurs ont souvent recours à cette technique pour produire des variations parmi lesquelles ils pourront choisir des plantes utiles. Contrairement à l'hybridisation naturelle, qui est lente et aléatoire, l'hybridisation artificielle est maîtrisée et plus efficace.

Le concombre est une plante à pollinisation croisée qui se caractérise par la parthénocarpie (production, sans pollinisation, de fruits sans graines). La parthénocarpie revêt une importance économique dans la sélection et la production des concombres parce qu'elle permet de passer outre le processus laborieux et coûteux de la pollinisation artificielle. La vigueur hybride du concombre est particulièrement prononcée, et se traduit par une augmentation du rendement de 20 à 40 % par rapport aux lignées parentales. Aussi presque tous les sélectionneurs utilisent-ils des hybrides F1 pour la production commerciale. De plus, comme les types monoïques sont trop vigoureux et exigent une taille fréquente, presque tous les nouveaux hybrides sont des types gynoïques choisis pour leur rendement élevé et leur vigueur modérée.

Au sein de la famille des cucurbitacées, il peut y avoir pollinisation croisée de plants de la même espèce et, dans de rares cas, de plants d'espèces différentes. Toutefois, il ne peut y avoir de pollinisation croisée entre les concombres et les potirons, courges, gourdes et pastèques, parce qu'ils n'appartiennent pas au même genre. Le concombre ne se pollinise pas non plus avec certains melons qui sont du même genre, mais d'une espèce différente.

Conditions du milieu

Le milieu offert par la serre a de profonds effets sur la productivité et la rentabilité des cultures. Dans la section ci-dessous, le milieu n'englobe que la température, la lumière, l'humidité relative, la teneur en gaz carbonique et la ventilation. D'autres facteurs comme l'eau et les éléments nutritifs sont examinés dans une autre section.

Température

La température de l'air est le principal facteur du milieu qui influe sur la croissance végétative, l'initiation florale, la croissance des fruits et leur qualité (planche I*a–i*). Le taux de croissance dépend de la température moyenne sur 24 heures. Plus la température est élevée, plus la croissance est rapide. Plus la température de l'air varie entre le jour et la nuit, plus le plant sera haut et plus les feuilles seront petites. La croissance maximale est obtenue à une température de 28 °C environ, de jour comme de nuit, mais on obtient une production maximale de fruits à une température de 19 à 20 °C la nuit et de 20 à 22 °C le jour. Les températures recommandées dans le tableau 1 représentent donc une solution de compromis qui donnera une forte productivité soutenue de fruits et une croissance modérée des plants tout au long de la saison de croissance.

Par temps chaud (c'est-à-dire à la fin du printemps et au début de l'automne), il est bon de baisser d'un maximum de 2 °C le réglage de température, notamment pendant la nuit, pour stimuler la croissance végétative lorsqu'elle est retardée par de nombreux fruits. L'abaissement de la température permet de réduire les frais de chauffage. Les températures diurnes élevées et les conditions d'éclairage favorables permettent de maintenir une moyenne satisfaisante sur 24 heures.

Tableau 1 Température de l'air recommandée pour la culture du concombre

	Faible éclairage (°C)	Bon éclairage (°C)	Avec gaz carbonique (°C)
Minimum nocturne[a]	19	20	20
Minimum diurne	20	21	22
Ventilation	26	26	28

[a] La température des racines doit être au moins de 19 °C, mais une température de 22 à 23 °C est préférable.

Éclairage

La plante a besoin de lumière pour pousser. La matière végétale est produite par photosynthèse, processus qui exige l'absorption de lumière par la chlorophylle (pigment vert) qui se trouve dans les parties vertes de la plante, principalement dans les feuilles. Il ne faut toutefois pas sous-estimer la capacité de photosynthèse des fruits du concombre, qui, en raison de leur taille et de leur couleur, constituent un cas spécial.

Dans le processus de photosynthèse, l'énergie lumineuse fixe dans le plant le gaz carbonique et l'eau de l'air pour produire des glucides comme

des sucres et de l'amidon. En règle générale, le taux de photosynthèse est fonction de l'intensité lumineuse, mais pas proportionnellement. L'éclairage est le plus important en hiver, quand il est moins abondant. De la fin de l'automne au début du printemps, où les jours sont courts et sombres et où les niveaux quotidiens d'énergie rayonnante sont faibles, les plants produisent peu de glucides. Non seulement la photosynthèse est-elle limitée par le faible éclairage, mais la petite quantité de glucides produite pendant la journée est en grande partie consommée par le plant pendant la longue nuit. La faible quantité de glucides assimilable par le plant en hiver limite beaucoup la productivité, comme le montre le grand nombre de fruits avortés. Les plants adultes profitent de toute augmentation d'intensité de la lumière naturelle, dans la mesure où ils reçoivent suffisamment d'eau, d'éléments nutritifs et de gaz carbonique et où la température de l'air n'est pas trop élevée.

Humidité relative

Une forte humidité relative tend à favoriser la croissance, mais on peut obtenir une croissance raisonnable avec une humidité relative moyenne ou même faible. Le concombre peut s'adapter à une humidité relative allant de faible à très élevée, mais est très sensible aux variations brutales et fréquentes de l'humidité relative. Il y est le plus sensible quand sa croissance s'est déroulée dans des conditions d'humidité relative élevée. Une forte humidité relative présente d'autres inconvénients, dont un plus grand risque de condensation sur les plants et l'apparition de maladies graves. Les faibles taux de transpiration seraient responsables de l'absorption et du transport réduits de certains éléments nutritifs, spécialement le calcium, jusqu'aux bords des feuilles et au fruit. Quand l'humidité relative est faible, l'irrigation devient un facteur crucial, parce qu'il faut apporter de grandes quantités d'eau au substrat sans engorger constamment les racines et les priver d'oxygène. De plus, une faible humidité relative favorise l'oïdium (blanc du concombre) et les tétranyques, ce qui, en soi, justifie l'installation et l'utilisation d'un système de brumisation.

L'humidité relative (HR), c'est la pression réelle de la vapeur d'eau exprimée en pourcentage de la pression maximale possible de vapeur d'eau dans certaines conditions de pression atmosphérique et de température de l'air. Par conséquent, les comparaisons entre différentes humidités relatives ne sont pas valables lorsque la température de l'air est différente. Le déficit de pression de la vapeur d'eau (i.e. DPV=es–e) représente un indicateur plus fiable pour exprimer la sécheresse de l'atmosphère. Un DPV élevé indique une atmosphère sèche alors qu'un DPV bas indique une atmosphère humide. À mesure que les producteurs pourront mesurer le DPV à l'aide d'ordinateurs environnementaux, on devra éviter de se référer à l'humidité relative.

Gaz carbonique

Par temps froid, en l'absence de ventilation, il faut avoir une concentration minimale de gaz carbonique de 1 000 vpm ($\simeq$ 1 000 ppm) pendant la journée. En été, lorsqu'il n'y pas de ventilation, un apport supplémentaire de gaz carbonique, dans des concentrations pouvant aller jusqu'à 400 ppm, s'est avéré rentable dans d'autres pays. Toutefois, cette technique est trop récente au Canada pour que nous la recommandions d'emblée. Dans les régions au climat maritime modéré, par exemple en Colombie-Britannique, le concombre profitera probablement d'un apport de gaz carbonique en été. Par contre, dans les régions au climat continental, comme dans le sud-ouest de l'Ontario, la nécessité de ventiler la serre pendant les mois chauds de l'été rendra probablement cette pratique non rentable et superflue.

Ventilation

Il est recommandé d'avoir un mouvement d'air de 0,5 m/s, ce qui provoque un léger mouvement des feuilles. Le mouvement horizontal de l'air offre plusieurs avantages. Il réduit au minimum les gradients de température dans la serre et enlève l'humidité qui se trouve dans la partie inférieure de la serre (sous le feuillage). Il répartit l'humidité dans le reste de la serre et aide le gaz carbonique du haut de la serre à se répandre dans le feuillage, où il est fixé par photosynthèse. Un mouvement d'air, ne serait-ce que modéré, rend les conditions plus uniformes dans la serre, ce qui tend à favoriser la productivité des plants et la conservation de l'énergie.

Besoins nutritionnels

Rapports sol-végétaux

Dans leur milieu naturel, les plantes vivent, presque sans exception, en association avec le sol, dans ce qu'on appelle les rapports sol-végétaux. Le sol subvient à quatre besoins fondamentaux des plantes : eau, éléments nutritifs, oxygène et support. Les progrès de la science et de la technologie permettent maintenant de subvenir artificiellement à ces besoins et de cultiver des plants hors sol.

Les diverses méthodes et techniques mises au point pour cultiver des plantes sans sol sont rassemblées sous l'appellation de cultures hors sol. Elles englobent une diversité de systèmes, depuis la culture purement hydroponique, où l'on n'utilise que de l'eau et des éléments nutritifs (par exemple la technique de culture sur film nutritif ou NFT) jusqu'aux méthodes qui reposent sur l'emploi de mélanges artificiels contenant une proportion plus ou moins grande de sol. Entre ces deux extrêmes, il existe

un grand nombre de méthodes qui utilisent une forme quelconque de substrat, qu'il soit inerte (plaques de laine de roche, morceaux de polyuréthane ou perlite, par exemple) ou non (gravier, sable ou sacs de tourbe, par exemple).

Le sol comme substrat

Le sol est constitué de minéraux, de matières organiques, d'eau et d'air. Un sol optimal pour la croissance végétale peut, en moyenne, comprendre 45 % de minéraux, 5 % de matières organiques, 25 % d'eau et 25 % d'air. Les matières minérales consistent en une diversité de petits fragments de roche. Les matières organiques sont un mélange de restes végétaux et animaux à divers stades de décomposition. Dans le processus de décomposition, une partie des matières organiques s'oxydent en produit final, tandis que d'autres se transforment en un produit intermédiaire appelé humus. Les propriétés chimiques du sol dépendent du type et de la quantité relative de ses éléments minéraux et organiques. On entend par propriétés chimiques du sol les quantités et combinaisons des divers éléments essentiels qui y sont présents, ainsi que le degré d'acidité ou d'alcalinité (pH)[1]. La quantité d'éléments nutritifs assimilables par les plants dépend non seulement des propriétés chimiques du sol, mais aussi de ses propriétés physiques.

Structure et texture du sol

Les propriétés physiques du sol décrivent sa texture et sa structure. Sa texture, c'est-à-dire sa composition granulométrique, est exprimée en pourcentages de sable, de limon et d'argile (fig. 4). La structure décrit la façon dont ses divers constituants minéraux et organiques sont associés en agrégats grumeleux. Les matières organiques d'un sol jouent un rôle important dans la structure du sol, et ce, pour deux raisons. Premièrement, une granulométrie variable des composants organiques se traduit en une grande diversité de structures de sol. Deuxièmement, l'humus fait effet de colloïde en agglutinant les divers constituants du sol en agrégats grumeleux.

La structure du sol, à son tour, joue un rôle important dans la fertilité du sol (c'est-à-dire l'aptitude de la terre à assurer la bonne croissance des cultures et l'obtention de bons rendements). Dans une large mesure, la structure dicte la capacité de rétention et l'aération du sol (tableau 2).

L'eau retenue dans les pores du sol et les sels qui y sont dissous constituent la solution du sol, qui joue un rôle crucial en fournissant de l'eau et des éléments nutritifs aux plants en croissance. L'air situé dans

[1] Une solution de pH égal à 7 est neutre. Les solutions acides ont un pH inférieur à 7, tandis que les solutions basiques ont un pH supérieur à 7, sur une échelle de 0 à 14.

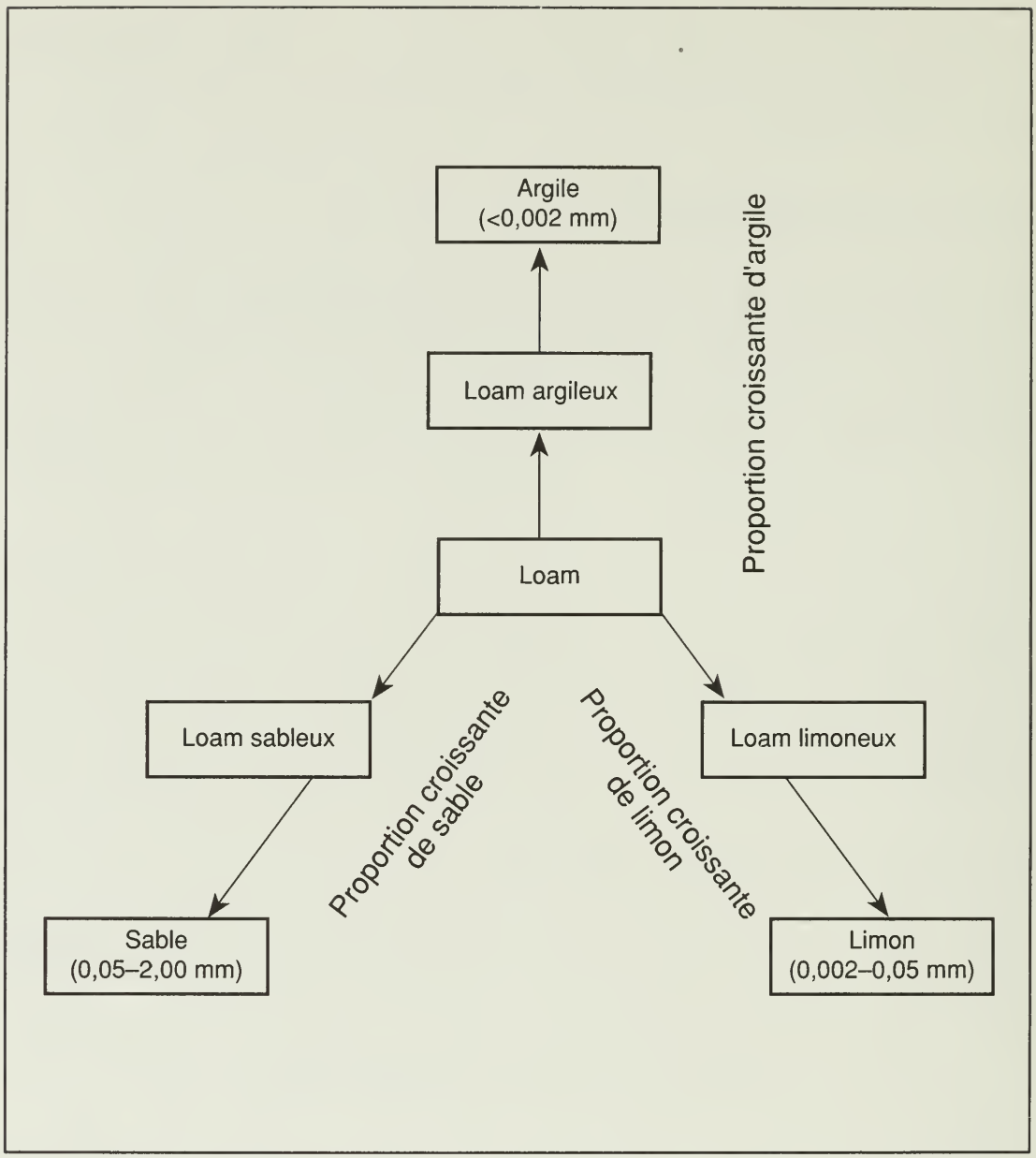

Fig. 4 Classification des sols en fonction de leur texture (granulométrie en mm).

les pores du sol fournit l'oxygène nécessaire à la respiration des racines et des microorganismes du sol, et enlève le gaz carbonique et les autres gaz qu'ils produisent. Les éléments nutritifs se trouvent dans le sol sous forme de composés complexes (organiques ou non organiques) qui ne sont pas assimilables par les plants, ou sous des formes simples qui sont généralement solubles dans l'eau et sont donc facilement assimilables par les plants (tableau 3). Les formes complexes, trop nombreuses pour qu'on puisse les mentionner ici, doivent d'abord être décomposées en formes simples et solubles pour pouvoir être assimilées par les plants et, donc, leur être utiles (fig. 5).

Tableau 2 Importantes propriétés des substrats selon leur structure et leur texture

Substrat	Ascension capillaire (cm)	Absorption d'eau (%, v/v)	Percolation
Sol	18	21	très lente
Mélange de tourbe	30	27	lente
Vermiculite	29	21	rapide
Perlite	41	17	rapide
Laine de roche	10	17	rapide
Granules d'argile expansée	2	11	très rapide

Tableau 3 Éléments essentiels à la croissance de la plupart des plants cultivés

Éléments organiques	Symbole	Masse atomique	Fourni par
Éléments organiques (de l'air et de l'eau)			
Hydrogène	H	1,00	H_2O
Carbone	C	12,00	CO_2
Oxygène	O	16,00	O_2, H_2O
Macro-éléments (exigés en grandes quantités)			
Azote	N	14,00	NO_3^-, NH_4^+
Potassium	K	39,10	K^+
Calcium	Ca	40,08	Ca^{++}
Magnésium	Mg	24,32	Mg^{++}
Phosphore	P	30,92	$H_2PO_4^-$, HPO_4^{--}
Soufre	S	32,07	SO_4^{--}
Oligo-éléments (exigés en petites quantités)			
Fer	Fe	55,85	Fe^{+++}, Fe^{++}
Manganèse	Mn	54,94	Mn^{++}
Cuivre	Cu	63,54	Cu^{++}, Cu^+
Bore	B	10,82	BO_3^{---} $B_4O_7^{--}$
Zinc	Zn	65,38	Zn^{++}
Molybdène	Mo	95,95	MoO_4^{++}

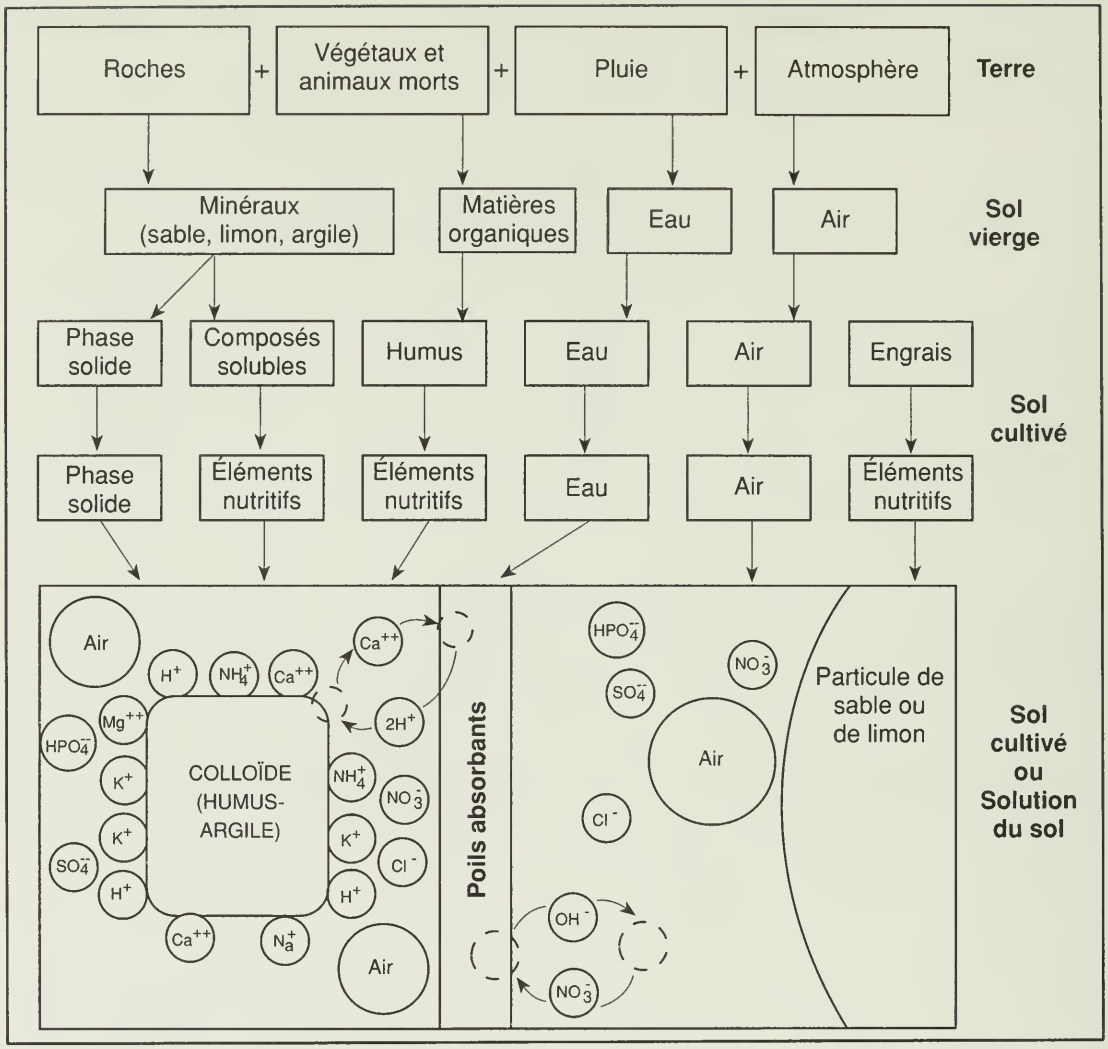

Fig. 5 Processus de minéralisation, de solubilisation, d'échange cationique et d'absorption d'éléments nutritifs.

Réaction du sol (pH)

La réaction de la solution de sol (pH) influe aussi sur la solubilité des divers éléments nutritifs et, par conséquent, sur leur assimilabilité par les plants (fig. 6).

Dans les sols acides (pH < 7), le calcium et le molybdène sont moins faciles à assimiler, tandis que dans un sol basique (pH > 7), ce sont le fer, le manganèse et le zinc qui le sont moins. Un excédent de bicarbonate (HCO_3) peut gêner l'assimilation normale de certains éléments nutritifs. La plupart des éléments nutritifs sont assimilables quand le pH est entre 6 et 7, ce qui veut dire que la plupart des plantes ont une croissance optimale dans les sols de ce type.

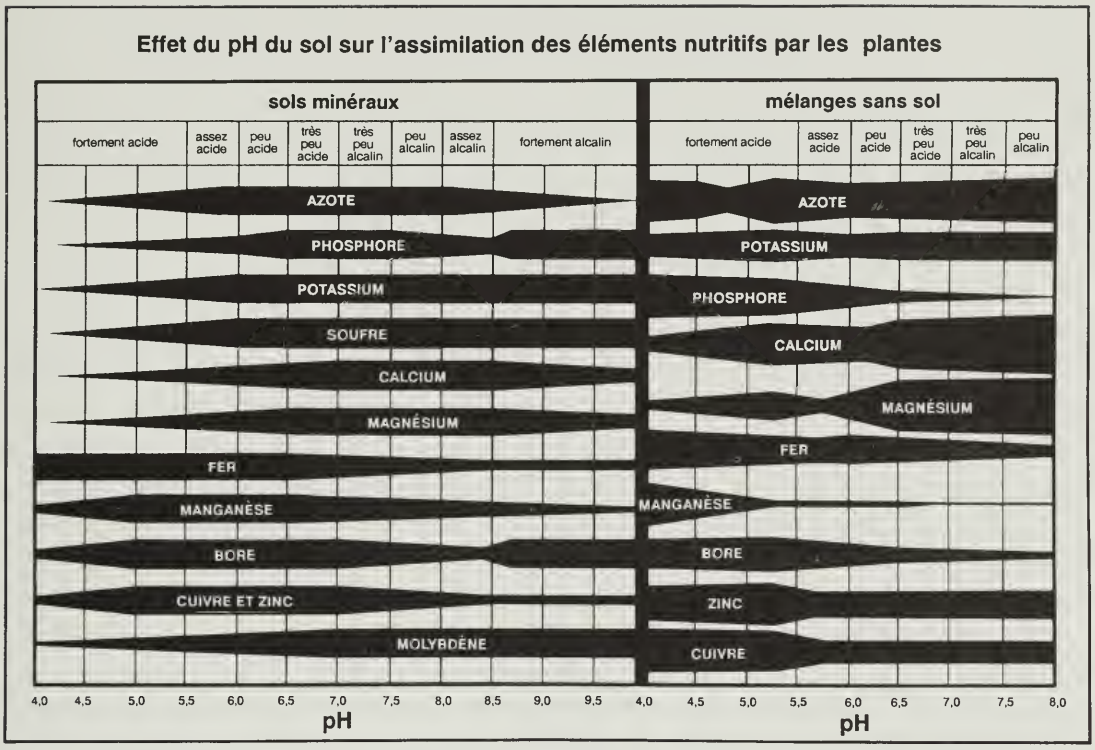

Fig. 6 Effets du pH du sol sur l'assimilabilité des éléments nutritifs par les plants (schéma fourni par Plant Products Ltd).

Capacité d'échange cationique du sol

Quand de petites quantités de sels inorganiques comme les matières minérales solubles du sol et les engrais commerciaux se mêlent à l'eau, ils se dissocient en particules chargées électriquement, que l'on appelle ions. Les ions à charge positive (cations) comme ceux d'hydrogène (H^+), de potassium (K^+), de calcium (Ca^{++}), de magnésium (Mg^{++}), d'ammonium (NH_4^+), de fer (Fe^{++}), de manganèse (Mn^{++}) et de zinc (Zn^{++}) sont absorbés surtout sur les surfaces à charge négative des colloïdes du sol (particules microscopiques d'argile et d'humus). Les cations n'existent qu'en petites quantités dans la solution du sol. Ainsi, les colloïdes d'humus-argile servent à emmagasiner certains cations essentiels. Les ions à charge négative (anions) comme ceux de nitrates (NO_3^-), de phosphates (HPO_4^{--}), de sulfates (SO_4^{--}) et de chlorures (Cl^-) se trouvent presque exclusivement dans la solution du sol. Un arrosage excessif peut donc lessiver facilement les anions. La solution du sol baigne les racines et leurs poils absorbants, qui sont en contact direct avec les surfaces colloïdales du sol. Les éléments nutritifs peuvent être assimilés

dans la solution du sol ou directement sur les surfaces colloïdales (échange cationique).

La solution du sol constitue la plus importante source d'éléments nutritifs, mais elle est si diluée que ses éléments nutritifs sont facilement épuisés et doivent être reconstitués à partir des particules de sol. La partie solide du sol, où sont emmagasinés les éléments nutritifs, libère lentement ceux-ci dans la solution du sol par solubilisation des matières minérales et organiques du sol, par dissolution des sels solubles et par échange cationique. L'apport d'engrais commerciaux se traduit par une augmentation plus marquée de la concentration des éléments nutritifs dans la solution du sol.

À mesure qu'ils absorbent les éléments nutritifs (ions), les plants les échangent contre d'autres ions. À titre d'exemple, pour chaque ion de potassium (K^+) ou d'ammonium (NH_4^+) qu'il assimile, le plant libère un ion d'hydrogène (H^+) dans la solution du sol ou directement dans les colloïdes du sol par échange cationique. De même, pour chaque ion de calcium (Ca^{++}) ou de magnésium (Mg^{++}) qu'elle assimile, la racine libère deux ions d'hydrogène (H^+). Plus le plant absorbe de ces cations essentiels, plus la solution du sol et les particules colloïdales contiennent d'ions d'hydrogène (H^+). En conséquence, à mesure que les plants absorbent des cations (l'azote ammoniacal est un bon exemple), le sol s'acidifie. De plus, à mesure que les plants absorbent des anions essentiels comme les nitrates et les phosphates, la solution du sol s'enrichit de groupements hydroxyles (OH^-) et bicarbonate (HCO_3^-), ce qui explique que l'absorption d'anions (l'azote nitrique est un bon exemple) par les plantes rende le sol plus alcalin.

Besoins nutritionnels et action des éléments nutritifs

Pour réussir dans la culture du concombre, le producteur doit maintenir un équilibre optimal entre le rendement végétatif et le rendement reproductif. Cet équilibre est atteint quand la plante possède une tige épaisse et de grandes feuilles vert foncé et porte un grand nombre de fruits qui augmentent de taille rapidement. Un plant bien nourri et bien développé doit avoir une tige principale de 1,5 cm environ d'épaisseur, deux grandes tiges latérales d'une épaisseur de 1 cm environ et au moins une nouaison, et la croissance doit être rapide (7 jours entre la nouaison et la récolte) à chaque nœud. Une tige plus épaisse est le signe d'une trop forte croissance végétative, qui tend à produire un nombre excessif de nouaisons, déclenchant ainsi un cycle de fructification excessive, d'épuisement des glucides, de ralentissement de la croissance et du renouvellement des racines, d'arrêt de la croissance, d'avortement généralisé des fruits et de récupération lente. Une tige plus mince et à croissance plus lente est le signe d'une croissance reproductive excessive ou de mauvaises conditions de croissance. Il n'est pas facile d'obtenir une longue production soutenue de fruits, mais la chose est possible à condition d'avoir un milieu ambiant optimal et des apports opportuns

d'eau et d'éléments nutritifs. Bien que les éléments nutritifs inorganiques ne constituent qu'une infime partie du poids total de la plante (≃ 1 %), leur apport, le plus souvent sous forme d'engrais chimiques, est essentiel. Les apports d'engrais ont une forte influence sur la croissance et le développement des plants et, en fin de compte, sur la quantité et la qualité des fruits par rapport à d'autres cultures de serre. Le concombre absorbe et utilise de grandes quantités d'engrais. Toutefois, ses racines sont facilement endommagées par un excès d'engrais ou par une trop grande fluctuation des apports d'engrais. Comme le concombre est extrêmement sensible à la salinité, le rendement baisse en proportion inverse de la conductivité électrique de la solution utilisée pour l'irrigation fertilisante. Bien qu'il faille ajuster l'apport d'engrais tout au long de la saison de production pour tenir compte de l'évolution des besoins nutritionnels des plants en fonction des conditions du milieu, il faut veiller à ce que ces ajustements soient faibles et graduels (tableau 4).

Tableau 4 Teneur en éléments nutritifs de la matière sèche des feuilles de concombres sains et de concombres manifestant des symptômes de carence ou de toxicité. La teneur en matière sèche varie de 80 à 110 g/kg, la moyenne étant de 98 g/kg dans le cas des feuilles fraîches

Élément nutritif	Plant sain		Carence	Toxicité
	Gamme	Moyenne		
Azote (mol/kg)				
N total	1,8–3,6	2,96		
N en nitrates	0,07–1,0	0,24	<0,07	1,3
Phosphore (mol/kg)	0,11–0,25	0,17	<0,07	
Potassium (mol/kg)	0,5–1,5	0,97	<0,4–0,5	
Magnésium (mol/kg)	0,2–0,8	0,42	<0,10	
Calcium (mol/kg)	0,5–2,5	1,19	<0,5	
Soufre (mol/kg)				
S total	0,13–0,30	0,19	<0,08	
S en sulfates	0,05–0,28	0,13		
Bore (mmol/kg)	2,8–10,0	7,0	<2,5	>25
Cuivre (mmol/kg)	0,03–0,30	0,20	<0,03	
Fer (mmol/kg)	1,7–5,4	4,2	<0,9–2,7[a]	
Manganèse (mmol/kg)	0,9–11,0	5,8	<0,4–0,7	> ± 10
Molybdène (mmol/kg)	0,01–0,06	0,032	<0,008–0,010	
Zinc (mmol/kg)	0,9–3,0	0,032	<0,3	> ± 10

[a] Pas de diagnostic.
Source: Roorda van Eysinga, J.P.N.L.; Smilde, K.W. 1981. Nutritional disorders in glasshouse tomatoes, cucumbers and lettuce. Cent. Agric. Publ. and Docum., Wageningen, The Netherlands. 130 pp.

On peut se procurer maintenant sur le marché des indicateurs à multiples engrais contrôlés par ordinateurs ce qui permet un dosage précis des engrais et adapté aux besoins des cultures (planche II).

Les sections ci-dessous décrivent le rôle de chaque élément nutritif dans la croissance et la productivité des concombres sans graines.

Macro-éléments

Les plants de concombre ont besoin de grandes quantités des éléments nutritifs suivants : azote, phosphore, potassium, calcium, magnésium et soufre.

Azote

L'azote contribue davantage à la croissance des organes végétatifs (feuilles et tiges) du plant qu'à celle des fruits. De forts apports d'azote favorisent une croissance végétative vigoureuse aux dépens de la croissance des fruits et des racines. C'est en particulier sous forme d'ammonium que l'azote stimule la croissance végétative. À condition d'être apportée en faibles concentrations bien planifiées et bien dosées, l'urée (NH_4NO_3) peut revigorer des plants affaiblis et stagnants. Toutefois, il faut user de prudence, car il est très facile de brûler les plants avec de tels engrais. Il est bon de demander au préalable l'avis d'experts (planche III*a–d*). Les premiers symptômes d'une lésion causée par l'ammoniac sont la formation de petites plages chlorotiques sur les feuilles. Petit à petit, ces plages s'élargissent et se rejoignent, ne laissant que les nervures de couleur verte. Il convient de se conformer aux doses recommandées pour chaque système de culture, comme on le verra plus loin.

Carence Chez les plants à tige ligneuse, la carence en azote se manifeste par la formation de feuilles petites et fines et par la décoloration générale du feuillage. Comme l'azote est un élément nutritif qui se déplace au sein de la plante, le jaunissement se produit d'abord sur les plus vieilles feuilles. La plante entière finit par prendre une couleur vert pâle, et les feuilles plus jeunes cessent de pousser. Les fruits deviennent courts, épais, vert pâle, épineux et, parfois, resserrés à l'extrémité distale.

Toxicité Un excès d'azote produit des tiges vigoureuses et épaisses, des feuilles vert foncé qui s'enroulent, des entre-nœuds courts et une abondance de vrilles, de courtes tiges latérales et de fleurs (ou de petits fruits). Dans les cas graves, la croissance s'arrête, les feuilles du milieu et du bas des plants se recroquevillent et fléchissent légèrement et des points transparents apparaissent entre les nervures, qui, par la suite, deviennent jaunes et brunes. La chlorose marginale et internervale finit par brûler les feuilles, et l'ensemble de la plante s'affaisse. Dans la plupart des cas, une irrigation abondante et une réduction de la transpiration à l'aide d'une régulation judicieuse des conditions ambiantes permettent de sauver les plants, s'ils n'ont pas atteint le point de flétrissement.

Concentration La teneur normale en azote des tissus végétaux est de 5 à 6 % de N dans le poids sec de la troisième feuille à partir du sommet (10 cm de diamètre), de 0,5 à 1,5 % de NO_3 dans le poids sec des jeunes feuilles complètement développées ou de 2 à 3 % de N (ou de 0,6 à 1,2 % de NO_3) dans la sève des pétioles adultes. Dans les plants carencés, l'azote constitue moins de 3 % du poids sec des jeunes feuilles et moins de 2 % de celui des vieilles feuilles.

Remèdes On remédie à une carence en azote en pulvérisant sur les feuilles une solution d'eau et d'urée (de 2 à 5 g d'urée par litre d'eau). Pour éviter de brûler les feuilles, il est préférable de pulvériser par temps couvert ou tard dans l'après-midi ou encore de rincer à l'eau les résidus de solution sur le feuillage. Il faut chercher immédiatement une solution permanente à la carence, c'est-à-dire établir la cause du problème et apporter régulièrement la quantité voulue d'engrais azoté, en fonction du système de production utilisé.

Phosphore

Bien qu'il soit utilisé en plus petites quantités que l'azote, le phosphore est nécessaire en permanence. Au début, il joue un rôle important dans la croissance initiale des racines, en particulier si le milieu racinaire est froid, mais il a aussi de profonds effets sur la croissance végétative et sur la production de fruits tout au long de la saison. Le phosphore s'emmagasine bien dans le sol, mais est facilement lessivé dans la tourbe ou dans un substrat sans sol. Il faut donc toujours inclure le phosphore dans la fertilisation de tous les substrats sans sol.

Carence La carence en phosphore se manifeste au début par un ralentissement de la croissance globale, sans symptômes caractéristiques. Dans les cas graves, les plants se rabougrissent et les jeunes feuilles deviennent petites et rigides et prennent une couleur vert-gris foncé. Sur les feuilles plus vieilles, il se forme de grandes taches gorgées d'eau sur les nervures et entre les nervures. Les feuilles ainsi touchées finissent par se décolorer, se recroqueviller, prendre une couleur brune et se dessécher.

Toxicité La toxicité est rare dans le cas du phosphore.

Concentration La concentration normale de phosphore dans les tissus végétaux est de 0,6 à 1,3 % du poids sec des feuilles de la tige principale. On trouve davantage de phosphore dans les jeunes feuilles. L'échantillonnage se fait généralement sur la troisième feuille à partir du sommet, qui a un diamètre d'une dizaine de centimètres. Dans les plants carencés, le phosphore constitue moins de 0,3 % du poids sec des jeunes feuilles et moins de 0,2 % de celui des vieilles feuilles.

Remèdes On remédie à une carence en phosphore par un apport d'engrais dans le sol (le superphosphate triple fournit du phosphore à

raison de 20 g/m^2) ou dans l'eau d'irrigation (de 30 à 50 ppm de phosphore sous forme de phosphate monopotassique).

Potassium

Les plants ont besoin de grandes quantités de potassium, lequel est mobile dans le plant. Le potassium est essentiel à la croissance normale et à une bonne qualité des fruits. En tant que macro-élément à charge positive, il joue un rôle important en compensant les charges négatives des acides organiques produits dans les cellules et d'autres anions comme les sulfates, les chlorures et les nitrates. Par ailleurs, le potassium active plusieurs enzymes et réduit la transpiration en agissant sur l'ouverture et la fermeture des stomates. Les effets de la réserve de potassium dépendent de l'interaction avec plusieurs éléments. En règle générale, l'azote et le phosphore ont des effets antagonistes et provoquent ou aggravent une carence en potassium. Le calcium et, à un moindre degré, le magnésium entravent l'assimilation du potassium, mais une carence prononcée en calcium peut aussi entraîner une carence en potassium. L'ammonium réduit fortement le taux d'assimilation du potassium. La carence en potassium tend à provoquer ou aggraver la carence en fer.

Carence Les symptômes de la carence en potassium se manifestent en premier sur les plus vieilles feuilles (qui restent le plus touchées) et progressent de la base vers le sommet du plant. Dans l'ensemble, la croissance est arrêtée, les entre-nœuds sont courts et les feuilles sont petites. La chlorose survient presque toujours en premier sur les bords des plus vieilles feuilles, qui s'enroulent souvent vers le bas. Par la suite, la chlorose s'étend aux zones internervales, vers le centre de la feuille, et la nécrose marginale des feuilles s'ensuit. Bien que le bord des feuilles se dessèche, les nervures restent vertes pendant un certain temps. Il arrive que les fruits aient une extrémité hypertrophiée, mais que la tige ne soit pas développée. La carence en potassium est rare chez le concombre cultivé dans le sol (sauf dans les sols sableux). Par contre, elle peut survenir rapidement dans une culture hors sol si la solution nutritive ne contient pas assez de potassium.

Toxicité Il est rare qu'un excès de potassium constitue un problème, à moins de provoquer la carence d'autres éléments nutritifs (calcium, magnésium ou fer).

Concentration La concentration normale de potassium dans les tissus végétaux est la suivante : 4 ± 1 % du poids sec du limbe de jeunes feuilles (10 cm de diamètre) (la concentration est bien plus forte dans les pétioles : de 8 à 15 %), et entre 3 500 et 5 000 ppm dans la sève des pétioles. Il faut s'attendre à des symptômes de carence et à une baisse du rendement si la concentration de potassium tombe au-dessous de 3,5 %

du poids sec du limbe des feuilles du printemps ou au-dessous de 3 000 ppm dans la sève des pétioles.

Remèdes On remédie à une carence par un bon apport de potassium dans le sol, sous forme d'une fumure de fond (à raison de 80 g/m^2, par exemple), ou dans l'eau, sous forme d'une solution fertilisante (de 300 à 500 ppm de K, par exemple). Pour obtenir des résultats immédiats, on peut aussi pulvériser sur le plant une solution de 20 g de sulfate de potassium par litre d'eau. Il n'est toutefois pas possible de fournir au plant tout le potassium dont il a besoin en ayant seulement recours aux pulvérisations.

Calcium

Le calcium se déplace dans le xylème avec l'eau, et il migre peu des vieilles feuilles aux jeunes feuilles. Quand les apports de calcium sont interrompus ou insuffisants, c'est donc au sommet du plant que les symptômes de la carence se manifestent en premier. Le calcium joue un rôle important dans la structure et la stabilité des membranes cellulaires et, peut-être, dans la structure et la rigidité des parois cellulaires.

Carence La carence en calcium est rare chez le concombre, sauf dans les serres super-étanches à grand rendement énergétique où l'humidité est constamment élevée. Au début de la carence en calcium, des points blancs transparents apparaissent près des bords et entre les nervures des feuilles les plus jeunes. La chlorose internervale est fréquente, mais les nervures restent vertes. Les plants cessent de pousser et les entre-nœuds sont courts, en particulier en haut du plant. Les plus jeunes feuilles restent petites et leurs bords se recroquevillent vers le haut. Les vieilles feuilles, par contre, se recroquevillent vers le bas. Dans les cas graves, les pétioles deviennent fragiles et les feuilles tombent facilement, les fleurs avortent et le point de végétation meurt. De plus, les racines des plants carencés sont peu développées, plus épaisses et plus courtes que ce n'est normalement le cas. En général, elles deviennent brunes et ont peu de poils absorbants. Les fruits sont petits et insipides et ne sont pas développés normalement dans la partie apicale. Les interactions et antagonismes complexes entre le calcium et d'autres cations sont examinés dans la section sur le potassium. Une carence en calcium peut se produire dans les sols où le lessivage épuise les réserves de calcium, dans la tourbe non chaulée ou dans les cultures hors sol où la solution nutritive ne contient pas assez de calcium.

Concentrations La concentration normale de calcium dans les tissus végétaux est la suivante : 1,5 % du poids sec des jeunes feuilles (10 cm de diamètre) ou 5,0 % du poids sec des jeunes feuilles entièrement développées. Les symptômes de la carence se manifestent quand la

concentration de calcium passe au-dessous de 0,5 % du poids sec des jeunes feuilles (10 cm).

Remèdes Pour remédier rapidement à une carence en calcium, il faut pulvériser sur les plants une solution de 10 g de nitrate de calcium par litre d'eau, de préférence par temps couvert ou en fin de journée, pour éviter que les sels ne brûlent le feuillage. Pour remédier de façon permanente au problème, il faut établir pourquoi l'assimilation de calcium est insuffisante et prendre les mesures qui s'imposent.

Magnésium

Carence Les premiers symptômes de la carence en magnésium sont la chlorose marbrée et les taches brunes des feuilles dans la partie inférieure du plant. Des taches jaunes commencent à apparaître dans les zones internervales, tandis que les nervures restent vertes. Le bord de la feuille peut rester vert, même dans les cas les plus graves où les zones internervales jaunes se sont desséchées et sont devenues brun pâle. Dans le cas des concombres cultivés dans le sol, la carence en magnésium n'existe généralement que dans le plant, pas dans le sol. La carence peut être causée par une forte concentration de potassium (résultant de trop nombreuses fumures potassiques), de calcium (résultant d'un chaulage excessif) ou d'ammonium, ou encore à une trop grande acidité du sol. Dans ces conditions, le plant a de la difficulté à assimiler suffisamment de magnésium, ce qui l'oblige à transférer le magnésium des vieilles aux jeunes feuilles. La carence se produit aussi dans les concombres cultivés hors sol si la proportion de magnésium dans la solution nutritive tombe au-dessous de la concentration minimale recommandée ou n'est plus en équilibre avec les autres cations (K^+, Ca^{++}, NH_4^{++}, H^+).

Toxicité Les symptômes de la toxicité, la brûlure marginale des feuilles vert foncé, sont rares. Ils se manifestent dans les concombres cultivés hors sol si la solution nutritive a une forte teneur en magnésium.

Concentration La concentration normale de magnésium dans les tissus végétaux est la suivante : de 0,5 à 0,7 % du poids sec des jeunes feuilles (10 cm de diamètre), plus élevée dans les plus vieilles feuilles (de 0,5 à 0,9 % dans les jeunes feuilles ou de 1,5 à 2,0 % dans les vieilles feuilles saines). Les symptômes de la carence se manifestent quand la proportion de magnésium dans les jeunes feuilles (10 cm de diamètre) passe au-dessous de 0,35 % du poids sec.

Remèdes On remédie à une carence en magnésium en pulvérisant en abondance sur le plant une solution de 20 g de sulfate de magnésium par litre d'eau, de préférence par temps couvert ou en fin de journée, pour éviter la brûlure du feuillage par les sels. Mieux encore, on peut veiller à ce que la quantité voulue (qui varie en fonction du système de culture) de magnésium atteigne les racines.

Soufre

La carence en soufre est rare, parce que le soufre est présent dans de nombreux engrais, où il sert de véhicule et parce que c'est un polluant fréquent. Toutefois, une trop forte concentration de soufre peut causer une accumulation excessive de sels et nuire à l'assimilation du molybdène.

Oligo-éléments

Le concombre a besoin de petites quantités des éléments nutritifs suivants : fer, manganèse, cuivre, bore, zinc, molybdène et chlore.

Fer

Une petite quantité de fer est indispensable à la synthèse de la chlorophylle. Le fer est immobile dans la plante.

Carence Les symptômes de la carence en fer ressemblent à ceux de la carence en magnésium, mais se manifestent presque toujours sous forme de chlorose des jeunes feuilles en période de croissance rapide. Au début, les plus jeunes feuilles deviennent jaune-vert ou jaunes, mais les nervures restent vertes. Par la suite, la chlorose s'étend aux nervures, en commençant par les plus petites, puis les feuilles touchées prennent une couleur allant du jaune citron au blanc. Les tiges cessent ensuite de pousser, et la nécrose apparaît sur les feuilles qui ont perdu toute leur chlorophylle. Des symptômes se manifestent également sur les tiges latérales et sur les fruits.

Comme la carence en calcium, la carence en fer est le plus souvent induite. Les causes indirectes de la carence en fer peuvent être les suivantes :

- un substrat trop alcalin
- un substrat trop riche en manganèse
- un substrat anaérobie
- une croissance insuffisante des racines
- la mort des racines dans un système de culture NFT ou dans un substrat arrosé excessivement

Dans de nombreux cas, pour régler le problème, il suffit de mieux oxygéner les racines pour améliorer la texture et la structure du substrat, d'optimiser l'irrigation, d'aérer le substrat et la solution nutritive et de s'assurer que le taux de transpiration des plantes est suffisant.

Toxicité Une dose excessive de fer entraîne généralement une carence en manganèse, ce qui indique une fois de plus la forte concurrence entre le fer et le manganèse dans le plant.

Concentration La concentration normale de fer dans les tissus végétaux est de 100 à 300 ppm dans le poids sec des feuilles complètement formées

(cinquième feuille à partir du haut). Les symptômes de la carence se manifestent quand cette concentration passe au-dessous de 50 ppm, mais la chlorose peut également se produire quand la teneur en fer dépasse 100 ppm. Cet écart est dû au fait que tout le fer qui se trouve dans les tissus végétaux n'est pas toujours physiologiquement actif.

Remèdes Quand le facteur limitant est l'apport même d'éléments nutritifs, on peut ajouter des sels de fer ou des chélates de fer au sol (de 5 à 10 g de Fe-EDDHA au m^2 ou de 12 à 20 g de Fe-DPTA au m^2) ou pulvériser une solution sur le feuillage (0,2 g de Fe-EDTA par litre d'eau). Toutefois, la meilleure intervention consiste à éliminer la source du problème. Contrairement à la croyance populaire, les fortes concentrations de chélates de fer sont toxiques. Il ne faut donc pas dépasser les doses recommandées, notamment dans la pulvérisation foliaire. Il ne faut pas non plus pulvériser fréquemment le feuillage, parce que les sels peuvent s'accumuler sur les feuilles et finir par devenir toxiques. Pour augmenter l'assimilation des éléments nutritifs et réduire le risque de brûlure par les sels, il est préférable de pulvériser par temps couvert ou en fin d'après- midi. Pour éviter la pourriture de la tige, ne pulvériser que la partie supérieure de la plante, où se manifestent les symptômes de la carence.

Manganèse

Les plants ont besoin de manganèse, en très petites quantités, pour activer plusieurs enzymes, dont les plus importantes favorisent la photosynthèse et la production de l'hormone végétale auxine. En l'absence de manganèse, le peroxyde d'hydrogène s'accumule dans les cellules et les endommage. Comme le fer, le manganèse est immobile dans le plant et s'accumule surtout dans les feuilles inférieures.

Carence Souvent confondue avec la carence en fer, la vraie carence en manganèse est rare. En fait, vu la concurrence habituelle entre le fer et le manganèse, une carence apparente en manganèse peut être l'expression d'un excès de fer. Les symptômes de la carence en manganèse se manifestent surtout sur les nouvelles parties du plant. Il est souvent difficile d'établir la véritable nature d'un trouble nutritionnel, parce que les symptômes de la carence en fer, de la toxicité du fer et de la carence en manganèse se ressemblent.

Ce qui distingue le plus la carence en manganèse de la carence en fer est que les nervures restent vertes tandis que les bords et les zones internervales des feuilles deviennent progressivement vert pâle, jaune-vert et jaunes. Par ailleurs, la carence en manganèse se manifeste dans les feuilles par l'apparition de taches nécrotiques ou de lésions caractéristiques. À un stade avancé, la feuille entière, à l'exception des nervures principales, devient jaune et des dépressions blanchâtres se forment entre les nervures. La carence en manganèse se produit dans les

sols calcaires, dans la tourbe fortement chaulée ou dans les substrats sans sol où la solution nutritive ne contient pas de manganèse.

Toxicité C'est sur les plus vieilles feuilles que se manifestent en premier les symptômes de la toxicité du manganèse : zones vert pâle et jaunes entre les nervures. Les nervures prennent une couleur rouge-brun, et de nombreuses taches violettes se forment sur les tiges, les pétioles et les nervures sur le dessous des feuilles.

La toxicité du manganèse survient normalement après la désinfection du sol à la vapeur. Elle se produit surtout dans les sols acides ou quand la désinfection est prolongée ou faite à une température trop élevée, ou encore quand le sol est insuffisamment lessivé après la désinfection.

Concentration La concentration normale de manganèse est de 30 à 60 ppm dans les jeunes feuilles et de 100 à 250 ppm dans les plus vieilles feuilles. Une baisse du rendement peut se produire quand la concentration passe au-dessous de 50 ppm dans les jeunes feuilles. Des symptômes de carence tendent à se manifester quand elle passe à 12 – 15 ppm. Des symptômes de toxicité apparaissent quand la teneur en manganèse atteint 500 ppm dans les jeunes feuilles et 800 ppm dans les vieilles feuilles. Il faut s'attendre à une forte baisse du rendement si la concentration atteint 2 000 ppm dans les jeunes feuilles et 5 000 ppm dans les vieilles feuilles.

Remèdes Les symptômes de la carence disparaissent rapidement après une pulvérisation foliaire d'une solution de sulfate de manganèse, allant de 1,5 g par litre d'eau pour une pulvérisation à volume élevé, à 10 g par litre pour une pulvérisation à faible volume. En règle générale, les solutions nutritives doivent comprendre 0,05 ppm de manganèse. La façon de remédier à long terme à la carence en manganèse consiste à apporter du sulfate de manganèse au sol, à raison de 50 g au m^2, tout en faisant le nécessaire pour abaisser le pH du sol s'il est au-dessus de la normale.

Cuivre

Le cuivre agit comme activateur de plusieurs enzymes aux propriétés et fonctions diverses, dont les enzymes qui interviennent dans la photosynthèse et la respiration. Bien qu'il soit mobile dans les plants où il est abondant, cet oligo-élément l'est bien moins dans les plants où il est présent en quantité insuffisante. Il est donc probable qu'il existe un lien entre la concentration de cuivre dans les nouveaux tissus et l'état du plant. Toutefois, l'analyse du sol est plus utile que l'analyse des tissus pour repérer la carence en cuivre.

Carence La carence en cuivre ralentit la croissance et entraîne la formation d'entre-nœuds courts et de petites feuilles. Au début, des chloroses internervales apparaissent sur les feuilles adultes, mais, par la

suite, les symptômes progressent vers le haut de la plante. Les feuilles finissent par prendre une couleur vert terne ou bronze, leurs bords se recroquevillent vers le bas et le plant reste rabougri. De plus, le développement des bourgeons et des fleurs diminue au sommet de la plante. Les quelques fruits qui sont produits se développent mal et leur peau jaune-vert est parsemée de petites dépressions brunes.

La carence en cuivre est rare, en partie parce que les approvisionnements en cuivre sont suffisants dans la plupart des cas, vu l'emploi fréquent du cuivre dans les canalisations et les fongicides. Elle survient parfois quand les concombres sont cultivés dans de la tourbe ou dans un système hydroponique à canalisations de plastique, où la solution nutritive ne contient pas de cuivre. Un pH élevé du sol réduit l'assimilabilité du cuivre, mais cet effet est bien moins important que dans le cas du manganèse, du fer et du bore.

Toxicité Bien que rare, la toxicité du cuivre peut entraîner des chloroses causées par une carence en fer quand le sol est contaminé par le cuivre provenant de sources industrielles ou de l'emploi répété de fongicides contenant du cuivre. Les effets toxiques persistent, et la seule solution partielle est un chaulage abondant. Dans les systèmes hydroponiques, l'emploi généralisé de canalisations en cuivre peut causer une contamination par le cuivre.

Concentration La concentration normale de cuivre varie entre 8 et 20 ppm dans le poids sec de la première feuille complètement développée (cinquième feuille). Les symptômes de la carence commencent à se manifester quand la concentration de cuivre passe au-dessous de 7 ppm et deviennent graves quand elle se situe entre 0,8 et 2,0 ppm. La carence en cuivre peut provoquer une forte baisse du rendement (de 20 à 90 %).

Remèdes Pour prévenir la carence en cuivre dans la tourbe, où elle est la plus fréquente, on peut ajouter 10 g/m^3 de sulfate de cuivre à titre de précaution. En règle générale, les solutions nutritives doivent contenir 0,03 ppm de cuivre. Pour obtenir des résultats immédiats, on peut pulvériser sur les plants une solution de sulfate de cuivre qui peut comprendre jusqu'à concurrence d'un gramme de sulfate de cuivre par litre d'eau, plus de l'hydroxyde de calcium (0,5 % environ) pour corriger le pH.

Bore

On ne sait pas exactement quelle fonction biochimique le bore remplit dans les plants, mais on tend à penser qu'il est indispensable à certains processus de division et de différenciation cellulaires dans les points de végétation. Le bore n'est pas mobile au sein du plant. Une bonne croissance exige des approvisionnements continus de bore aux racines. L'assimilabilité du bore est la plus faible dans les sols sableux alcalins. La qualité de l'eau influe elle aussi sur la teneur en bore des plants.

Carence Les symptômes de la carence se manifestent dans les points de végétation et les organes reproducteurs. Ils apparaissent vers la première récolte : les feuilles du milieu et du bas du plant deviennent légèrement chlorosées et fragiles. Bien que l'effet le plus caractéristique de la carence en bore soit la nécrose du sommet de la tige (point de végétation), il se produit d'autres effets :

- croissance de bourgeons axillaires et ramification anormale des plants
- malformation des jeunes feuilles, dont les nervures deviennent saillantes, et raidissement des vieilles feuilles, qui se recroquevillent vers le haut
- feuilles fragiles, de taille réduite, incurvées vers le haut
- jaunissement marginal des feuilles inférieures, qui finissent par devenir brunes et par se recroqueviller vers le bas et le haut
- fruits courts avec des fissures longitudinales dans la peau
- racines noircies aux extrémités hypertrophiées

Une carence accentuée en bore peut entraîner une forte baisse de rendement (jusqu'à 90 %) et une détérioration de la qualité des fruits.

Toxicité Le faible écart entre la carence et la toxicité est un problème particulier dans le cas du bore. Le concombre est particulièrement sensible à de fortes concentrations de bore dans le substrat ou dans les approvisionnements en eau (> 1 ppm). Vu que le bore tend à être immobile dans le plant, les premiers symptômes de la toxicité du bore se manifestent sur les vieilles feuilles. Un emploi imprudent d'engrais borates provoque facilement la toxicité. Au début, les bords des vieilles feuilles deviennent jaune-vert, se recroquevillent vers le bas et les feuilles sont plus rondes que d'habitude. Par la suite, les symptômes progressent de la base vers le sommet du plant et des taches nécrotiques se forment entre les nervures. Le plant finit par se rabougrir, les feuilles supérieures restent petites et peu de fleurs femelles se forment.

Concentration La concentration normale de bore dans le poids sec des feuilles varie entre 30 et 120 ppm. Les symptômes de la carence apparaissent quand elle passe à 6-8 ppm dans le cas des feuilles supérieures ou au-dessous de 20 ppm dans le cas des feuilles inférieures. Les symptômes de la toxicité se manifestent quand la teneur en bore dépasse 250-300 ppm dans les feuilles supérieures et 500-1000 ppm dans les feuilles inférieures.

Remèdes Il est facile de remédier à la carence en bore en apportant du borate de sodium au sol, à raison de 2 g/m^2 ou en pulvérisant sur le plant une solution de 1 à 2 g de borate de sodium par litre d'eau. Il est plus difficile de remédier à un excès de bore. Un lessivage abondant des sols sableux et un chaulage des sols acides peuvent donner de bons résultats.

Zinc

Plusieurs enzymes présentes dans les plantes contiennent du zinc. De toutes les carences en oligo-éléments, la carence en zinc est celle qui a les effets les plus évidents sur la photosynthèse. Toutefois, cette carence est rare.

Carence La carence se produit quand la solution nutritive fournie aux plants cultivés dans un système hydroponique ne contient pas de zinc. La teneur normale des sols en zinc varie généralement entre 10 et 300 ppm.

L'assimilabilité du zinc baisse quand le pH du sol s'élève et en présence de carbonate de calcium. De forts apports de phosphore peuvent provoquer une carence en zinc, parce qu'il se forme des phosphates de zinc insolubles. Le cuivre et, peut-être, le fer, le manganèse, le magnésium et le calcium bloquent l'assimilabilité du zinc.

Les symptômes de la carence ne sont pas bien définis, mais, en général, une légère marbrure internervale se produit sur les feuilles inférieures et progresse vers le haut de la plante. Les entre-nœuds supérieurs restent courts. La principale caractéristique de la carence en zinc est la petite taille des feuilles. Dans les cas graves, les entre-nœuds courts donnent à la partie supérieure du plant un aspect buissonnant. La croissance générale est ralentie et les feuilles prennent une couleur jaune-vert à jaune, à l'exception des nervures, qui restent vert foncé et bien définies.

Toxicité La toxicité du zinc peut être causée par des canalisations galvanisées. Elle peut aussi se produire dans les sols contaminés par des usines à zinc ou des mines de zinc voisines, ainsi que dans les serres où la charpente et les canalisations sont galvanisées. La totalité du réseau nerval, normalement vert foncé, devient quelque peu noirci. L'aspect noirâtre des nervures principales permet de distinguer la toxicité du zinc de la carence en manganèse, où les nervures restent vertes. Dans les cas graves de toxicité du zinc, les jeunes feuilles deviennent jaunes et les symptômes ressemblent à ceux de la carence en fer.

Concentration La concentration normale dans le poids sec de la cinquième feuille varie entre 40 et 100 ppm. Les symptômes de la carence se manifestent quand la concentration passe au-dessous de 20-25 ppm. La toxicité survient quand la concentration dépasse 150-180 ppm dans les feuilles âgées ou 900 ppm au sommet de la plante.

Remèdes Une pulvérisation de sulfate de zinc (5 g par litre d'eau) permet de remédier facilement à une carence en zinc. Le chaulage ou un apport de phosphate permet parfois de réduire la toxicité du zinc.

Molybdène

Le molybdène intervient dans de nombreuses enzymes et joue un rôle important dans le métabolisme de l'azote. Les plants ont besoin de

modestes quantités de molybdène : une moyenne de 0,2 ppm de molybdène disponible dans le sol suffit généralement. Contrairement à la plupart des autres oligo-éléments, qui sont présents dans le sol sous forme de cations, le molybdène y est présent sous forme d'anions. Il se comporte comme le phosphate. L'assimilabilité du molybdène augmente avec l'alcalinité du sol. La carence tend donc à se produire plus souvent dans les sols acides (et sableux), auquel cas le chaulage peut être efficace.

Carence La carence en molybdène est rare, mais a été observée dans les plants cultivés dans la tourbe. Au début, les feuilles deviennent vert pâle, surtout entre les nervures. Par la suite, elles peuvent jaunir et mourir. Parfois, certaines parties des feuilles adultes restent vertes, ce qui donne aux feuilles un aspect marbré. Les symptômes se manifestent d'abord sur les feuilles inférieures puis progressent vers le haut, mais les jeunes feuilles restent vertes. La croissance peut paraître normale, mais les fleurs restent petites. Les cas graves de carence dans la tourbe peuvent réduire de beaucoup les rendements (jusqu'à 84 %), mais, en relevant le pH (jusqu'à 6,7), le chaulage permet de ramener le rendement à des niveaux presque normaux.

Toxicité Bien que l'assimilation de grandes quantités de molybdène n'ait aucun effet nuisible sur la croissance des plants, il y a peut-être lieu de s'inquiéter des effets que pourrait avoir sur la santé la consommation de produits contenant une forte concentration de molybdène.

Concentration La concentration normale dans le poids sec des feuilles est de 0,8-5,0 ppm. Les plants carencés contiennent moins de 0,3 ppm de molybdène.

Remèdes Pour la culture dans la tourbe, l'adjonction de 5 g/m^3 de molybdate de sodium constitue un bon moyen préventif. L'apport de molybdate de sodium (150 mg/m^2) au sol ou la pulvérisation d'une solution de molybdate de sodium (1 g par litre d'eau) permet de remédier à une carence.

Chlore

Le chlore est le dernier élément à avoir été ajouté à la liste des éléments jugés indispensables à la croissance des plantes. La carence en chlore n'a jamais été observée, si ce n'est dans des expériences contrôlées, vu la prévalence du chlore dans l'environnement sous forme de contaminant.

Toxicité Un excès de chlore est un problème grave, notamment dans les systèmes hydroponiques où la solution nutritive est recyclée. Les plants n'exigent que de petites quantités de chlore (comme le fer) pour une croissance normale, mais peuvent en assimiler davantage si les réserves de chlore sont abondantes. Les grandes quantités de chlore trouvées dans divers engrais, où le chlore sert de véhicule, peuvent facilement causer une accumulation toxique de chlore dans la solution nutritive recyclée.

Concentration Pour la culture dans la laine de roche, en particulier, la concentration maximale de chlore recommandée dans la solution nutritive est de 35 ppm. Dans le cas des plaques de laine de roche, elle est de 70 ppm. Toutefois, des expériences récentes portent à penser que ces niveaux ont peut-être été sous-estimés.

Éléments non essentiels

Le silicium et le sodium sont deux éléments qui peuvent avoir des effets utiles ou nuisibles.

Silicium

Le silicium est l'un des éléments le plus abondants dans le sol, où il est surtout immobilisé dans le quartz. Le silicium assimilable est présent sous forme d'acide monosilicique [$Si(OH)_4$], mais l'assimilabilité diminue avec l'augmentation du pH.

Malgré l'absence de preuve absolue que le silicium soit un élément essentiel, il existe de plus en plus d'indications de ses nombreux effets bénéfiques. Le silicium semble souvent avoir un effet stimulateur, mais son abondance dans la poussière rend difficile d'étudier ses effets sur le rendement.

On a signalé que l'adjonction de 75 à 100 ppm de silice soluble (SiO_2) aux solutions nutritives utilisées dans les systèmes hydroponiques produit de meilleurs rendements et réduit l'apparition de l'oïdium et le pourridié pythien. Un apport continu de silicate de potassium ou de sodium est recommandé.

Sodium

Même s'il n'est pas indispensable à la croissance des plants, le sodium profite manifestement à de nombreux plants carencés en potassium. Dans certains cas, on peut le substituer au potassium. Il devient intéressant de savoir quelle devrait être la concentration maximale de sodium dans les solutions nutritives légèrement salines. La concentration maximale recommandée dans la solution nutritive est de 23 ppm pour la culture dans la laine de roche et de 46 ppm dans les plaques de laine de roche.

Pratiques culturales générales

Plan de culture

Concombre du début de printemps

- Ensemencer entre le 15 novembre et le 15 décembre
- Placer les plants dans des planches permanentes entre le 20 décembre et le 20 janvier
- Récolter entre février et juillet
- Enlever les plants entre le 1er et le 20 juillet
- Stériliser le sol et effectuer un nettoyage général entre le 1er et le 25 juillet.

Concombre de la fin de printemps

- Ensemencer entre le 15 décembre et le 30 janvier
- Placer les plants dans des planches permanentes entre le 20 janvier et le 1er mars
- Récolter entre mars et juillet
- Enlever les plants entre le 1er et le 20 juillet
- Stériliser le sol et effectuer un nettoyage général entre le 1er et le 25 juillet.

Concombre d'automne

- Ensemencer entre le 20 juin et le 15 juillet
- Placer les plants dans des planches permanentes entre le 15 juillet et le 15 août
- Récolter entre le 15 août et le 15 décembre
- Enlever les plants entre le 15 novembre et le 15 décembre
- Stériliser le sol et effectuer un nettoyage général entre le 16 novembre et le 31 décembre.

Il arrive parfois qu'on puisse prolonger jusqu'en novembre la culture de printemps (début ou fin de printemps) si les plants sont vigoureux et que les prix se maintiennent pendant l'été. On peut également remplacer la culture de printemps ou d'automne du concombre par la culture de la tomate.

Dans de rares cas, même les producteurs qui cultivent exclusivement la tomate se rabattent sur la culture d'été du concombre pour compenser un manque à gagner causé par la fin prématurée d'une culture de tomate de printemps.

Choix des cultivars

Il existe un grand choix de cultivars de concombre sans graines sur le marché international, et de nombreux nouveaux cultivars apparaissent chaque année. Un grand nombre de semences proviennent des Pays-Bas,

mais la plupart des fournisseurs ont des représentants au Canada. Les principaux critères sur lesquels baser le choix du meilleur cultivar sont les suivants :

- productivité générale
- port et vigueur des plants
- qualité des fruits (longueur, diamètre, forme, couleur et peau lisse)
- durée de conservation des fruits
- résistance aux maladies
- besoins d'énergie

Seuls les types gynoïques ou à prédominance gynoïque (c'est-à-dire avec peu de fleurs mâles), plutôt que les anciens types monoïques (c'est-à-dire avec fleurs mâles et femelles), sont acceptables. Les cultivars gynoïques sont préférés, parce qu'ils sont moins vigoureux (et exigent donc une taille moins fréquente), commencent à produire plus tôt, produisent davantage et peuvent pousser à des températures moins élevées. Le choix d'un cultivar est une décision compliquée. Le producteur doit se laisser guider par les résultats des recherches qui ont été publiés et par son expérience des divers cultivars disponibles. Le choix est d'autant plus compliqué que, selon la stratégie de conduite utilisée, des producteurs différents peuvent obtenir des résultats comparables avec des cultivars différents. De nombreux sélectionneurs garantissent la disponibilité de plusieurs cultivars de concombre de grande qualité, du moins dans un avenir prévisible. Pour des raisons qui sont reliées aux avantages intrinsèques de l'hybridation et à la protection des droits commerciaux des sélectionneurs, presque tous les cultivars de concombre sans graines disponibles sur le marché sont des hybrides stériles (autrement dit, il n'est pas possible de mettre de côté les semences de la récolte précédente).

Au moment d'aller sous presse, les cultivars les plus populaires étaient les suivants : Corona, Jessica (surtout pour une récolte d'automne), Bronco, Ventura et Dugan. L'apparition récente de nouveaux cultivars (comme Aragon et Flamingo) qui ont une tolérance et, peut-être, une certaine forme de résistance à l'oïdium a fait espérer une amélioration générale de la résistance à la maladie. Toutefois, jusqu'à présent, les cultivars qui sont tolérants à l'oïdium semblent moins vigoureux et moins productifs.

Les producteurs qui désirent obtenir les recommandations les plus récentes sur les cultivars à utiliser devraient communiquer avec le conseiller horticole de leur région.

Multiplication

La plupart des serristes au Canada font leurs propres semis. Cette pratique réduit les risques d'importation de maladies et d'insectes. Toutefois, certaines pépinières spécialisées d'autres pays s'appuient sur la technologie moderne pour assurer aux producteurs canadiens des approvisionnements réguliers de jeunes plants bon marché et de grande

qualité. La multiplication est une étape cruciale de la production de légumes en serre. La réussite d'une culture dépend en grande partie de l'attention accordée aux détails et des soins pris pendant la croissance des jeunes plants. De plus, dans le cas du concombre du début de printemps, la multiplication doit se faire en hiver, où l'éclairage naturel est limité. Pour tirer le meilleur parti de la lumière disponible, il faut agir avec précision sur d'autres facteurs comme l'espacement, la température, l'irrigation et la nutrition. L'éclairage artificiel, aujourd'hui utilisé par de nombreux producteurs pour stimuler la croissance des jeunes plants quand la lumière naturelle est limitée, améliore dans de grandes proportions le rendement des cultures du début de printemps.

La méthode préférée de culture des jeunes plants de concombre consiste à semer les graines dans de petits plateaux de germination à alvéoles multiples, puis à transférer les semis dans de plus grands pots jusqu'à leur mise en place dans la serre. On peut également sauter la première étape et semer les graines directement dans les grands pots (ou dans des blocs de laine de roche). La première méthode, vu que les plateaux prennent moins de place que les pots, permet de dépenser moins en chauffage avant la germination et moins en éclairage après. La deuxième méthode revient moins cher en main-d'œuvre, parce qu'il n'y a pas à transférer les semis des plateaux aux pots. Le choix de la méthode doit donc reposer sur le coût et la disponibilité de la main-d'œuvre, de l'énergie et des installations nécessaires.

Plan de multiplication

Pour savoir quand semer, il faut arrêter la date de la récolte des concombres. Il faut normalement compter entre 8 et 10 semaines entre l'ensemencement et la récolte du premier concombre dans le cas d'une culture de printemps, mais seulement entre 7 et 8 semaines dans le cas d'une culture d'automne. Une culture de printemps qui entre en production au début de février doit être semée vers la fin de novembre. Depuis quelques années, un nombre croissant de producteurs plantent une culture de fin de printemps dans des serres de plastique, auquel cas l'ensemencement a lieu en janvier et la plantation en serre, en février. La récolte a lieu entre mars et juillet, et parfois plus tard. La culture de fin du printemps est plus facile et moins coûteuse, mais la récolte a lieu quand les prix sont relativement faibles. Dans le cas d'une culture d'automne, l'ensemencement a normalement lieu pendant la première semaine de juillet.

Ensemencement des graines et mise en place des semis

Chaque gramme comprend 28 graines environ. Pour avoir une densité de 14 000 plants à l'hectare, un taux de germination de 90 % et une marge de sécurité (10 % de semis supplémentaires), il faut semer environ 600 g à l'hectare.

Vu la façon dont la racine du concombre (et d'autres cucurbitacées) se développe, il ne faut pas cultiver les semis dans des caissettes ou de toute autre façon qui oblige à tirer sur les semis et à endommager les racines. Il faut, plutôt, utiliser des plateaux à alvéoles multiples (douilles en plateaux ou en bandes) tout au long du cycle de multiplication, de façon à transférer la totalité des plants, avec leur système racinaire intact.

Sols et substrats sans sol

Il faut choisir pour les semis le même substrat que celui qui sera utilisé par la suite pour la culture. Commencer par remplir un plateau de plastique (55 cm sur 27) divisé en alvéoles de 3 cm sur 3 (pour plus de commodité, il est facile de se procurer des plateaux ou bandes à douilles). Il est recommandé d'utiliser un sol (de préférence un loam sableux) désinfecté à la vapeur puis lessivé pour la culture dans le sol. Pour la culture dans la tourbe, il est recommandé d'utiliser un mélange de tourbe commercial éprouvé ou un mélange de tourbe maison (tableau 5).

Tableau 5 Ingrédients d'un mélange standard de tourbe pour la culture des semis de concombre

Substrat	Quantité
Tourbe horticole	1,0 m^3 (4 balles de 0,17 m^3)[a]
Vermiculite horticole	0,5 m^3 (4,5 sacs de 0,11 m^3)
Pierre à chaux pulvérisée	10 kg

[a] On estime que l'expansion des balles comprimées correspond à 50 % du volume initial.

Presser le substrat dans les alvéoles du plateau à l'aide d'un autre plateau, de façon à créer des dépressions de 1,5 à 2,0 cm où l'on placera les graines. Placer une graine par alvéole, à 1 cm au moins au-dessous de la surface du substrat. Recouvrir la graine de substrat et racler l'excédent à l'aide d'une règle ou d'un autre objet semblable. Si on utilise du sol ou de la tourbe, il ne faut apporter que de l'eau après avoir semé les graines. Il est conseillé de recouvrir le plateau d'une pellicule de plastique pour conserver l'humidité. Après la germination et jusqu'au repiquage des semis dans les pots, ajouter de l'eau ou une solution fertilisante très diluée, selon les besoins (conductivité de 1200 μS/cm environ; voir les recommandations indiquées aux tableaux 6 et 7).

Tableau 6 Solutions-mères nécessaires à la préparation de solutions nutritives complètes pour les jeunes plants de concombre cultivés dans le sol et dans des mélanges sans sol

Engrais[a]	Sel dans la solution (kg/1000 L)
Solution-mère A	
Nitrate de calcium	67,0
Nitrate de potassium	74,0
Solution-mère B	
Sulfate de potassium	13,5
Solution-mère C	
Phosphate monopotassique	22,5
Sulfate de magnésium	50,0
Mélange d'oligo-éléments[b]	2,0

[a] Les solutions-mères, comme le décrit le tableau 7, peuvent servir à préparer des solutions nutritives de conductivité électrique variée pour la culture de jeunes plants dans le sol et dans des mélanges sans sol.

[b] Un mélange type d'oligo-éléments (par exemple, le mélange d'oligo-éléments chélatés de Plant Products Ltd.) contient 7 % de fer, 2 % de magnésium, 0,4 % de zinc, 0,1 % de cuivre, 1,3 % de bore et 0,06 % de molybdène.

Tableau 7 Quantité de chaque solution-mère nécessaire à la préparation de 1 000 L de solution nutritive finale de conductivité variée pour la culture des jeunes plants de concombre dans le sol ou des mélanges sans sol, et concentrations correspondantes d'éléments nutritifs

	Conductivité électrique (µS/cm)[a] dans la solution nutritive finale				
	1000	1500	2000	2500	3000
	Volume de chaque solution-mère à ajouter (L/ 1 000 L de solution finale)				
Solution-mère A	3,8	5,8	7,5	9,0	12,0
Solution-mère B	3,8	5,8	7,5	9,0	12,0
Solution-mère C	3,8	5,8	7,5	9,0	12,0
	Concentrations prévues d'éléments nutritifs (ppm) dans les solutions finales				
Azote (NO_3^-)	73	112	145	174	232
Azote (NH_4^+)	3	4	5	6	8
Phosphore	19	29	37	45	60
Potassium	152	232	300	360	480
Calcium	48	74	95	114	152
Magnésium	19	29	37	45	60
Fer	0,53	0,81	1,05	1,26	1,68
Manganèse	0,15	0,23	0,30	0,36	0,48
Zinc	0,030	0,046	0,060	0,072	0,096
Cuivre	0,008	0,012	0,015	0,018	0,024
Bore	0,099	0,151	0,195	0,234	0,312
Molybdène	0,004	0,007	0,009	0,011	0,144

[a] On n'a pas tenu compte de la conductivité électrique de l'eau. Pour calculer la conductivité électrique finale de la solution nutritive, ajouter aux conductivités indiquées la conductivité de l'eau utilisée (par exemple, si l'eau utilisée a une conductivité de 400 µS/cm et qu'on ajoute 7,5 L de chaque solution-mère à 1 000 L d'eau, la solution nutritive finale aura une conductivité électrique de 2 400 µS/cm).

Blocs de laine de roche

Pour la culture dans la laine de roche et divers autres systèmes sans sol, on sème les graines et on cultive les semis dans des blocs spéciaux de laine de roche. Ces petits blocs (3,6 x 3,6 x 4 cm, par exemple) sont disponibles en plaques de mêmes dimensions et de même forme que les plateaux de germination ordinaires. Chaque bloc comporte une cavité où doit être placée la graine, mais, à la livraison, ces blocs sont trop alcalins pour être utilisés immédiatement tels quels. Il faut commencer par les faire tremper dans une solution nutritive d'une conductivité électrique de 1500 µS/cm et d'un pH de 5 à 5,5. Les tableaux 8 et 9 indiquent les concentrations recommandées d'éléments nutritifs , ainsi que les quantités d'engrais nécessaires pour préparer la solution nutritive dans laquelle on fait tremper la laine de roche.

Placer une graine dans chaque cavité et la recouvrir de vermiculite très fine. Il est facile d'automatiser ce processus. Dans certains cas, on parvient à avoir le même taux de germination sans recouvrir les graines, mais cette pratique n'est pas recommandée, car, dans certaines conditions, les graines peuvent se dessécher ou être mangées par de petits animaux.

Après la germination, il faut surveiller le degré d'humidité dans la laine de roche et apporter au besoin une solution nutritive d'une conductivité électrique de 1500-1800 µS/cm et d'un pH de 5,5. Pour juger quand ajouter de la solution nutritive, il suffit de presser la laine de roche comme une éponge pour voir s'il est facile d'en extraire de la solution.

Il faut surveiller la conductivité électrique et le pH de la solution nutritive dans la laine de roche en prélevant fréquemment des échantillons de solution et en les analysant à l'aide d'appareils portatifs. Il faut maintenir la conductivité électrique au-dessous de 2500 µS/cm et le pH au-dessous de 6,0, en apportant une nouvelle dose de solution nutritive, toujours plus qu'il n'en faut pour mouiller la laine de roche. Le lessivage, au moyen de la solution nutritive, de l'excédent d'éléments nutritifs dans la laine de roche est un bon moyen d'éviter l'accumulation de sels et les dommages qu'une conductivité électrique trop élevée risque de causer aux semis, mais cette technique gaspille l'engrais et doit être utilisée judicieusement.

Tableau 8 Solutions-mères nécessaires à la préparation de solutions nutritives complètes pour la culture des jeunes plants de concombre dans la laine de roche

Engrais	Sel dans la solution (kg/1000 L)
Solution-mère A[a]	
Nitrate de calcium	100
Nitrate de potassium	45
Solution-mère B[a]	
Phosphate monopotassique	22
Sulfate de magnésium	33
Mélange d'oligo-éléments[b]	2

[a] Comme l'indique le tableau 9, on peut utiliser les solutions-mères pour préparer des solutions nutritives de conductivité électrique variée pour la culture des jeunes plants dans la laine de roche.

[b] Un mélange type d'oligo-éléments (par exemple, le mélange d'oligo-éléments chélatés de Plant Products Ltd.) contient 7 % de fer, 2 % de magnésium, 0,4 % de zinc, 0,1 % de cuivre, 1,3 % de bore et 0,06 % de molybdène.

Tableau 9 Quantité de chaque solution-mère nécessaire à la préparation de 1 000 litres de solution nutritive finale de conductivité diverse pour la culture de jeunes plants de concombre dans la laine de roche, et concentrations correspondantes d'éléments nutritifs

	Conductivité électrique (µS/cm)[a] dans la solution nutritive finale				
	1000	1500	2000	2500	3000
	Volume de chaque solution-mère à ajouter (L/ 1000 L)				
Solution-mère A	5.0	8.5	12.0	16.0	19.0
Solution-mère B	5.0	8.5	12.0	16.0	19.0
	Concentrations prévues d'éléments nutritifs (ppm) dans les solutions finales				
Azote (NO_3^-)	101	172	244	325	386
Azote (NH_4^+)	5	8	12	16	19
Phosphore	25	42	60	80	95
Potassium	117	200	282	376	446
Calcium	95	161	228	304	361
Magnésium	16	28	40	53	63
Fer	0,7	1,2	1,68	2,24	2,66
Manganèse	0,2	0,34	0,48	0,64	0,76
Zinc	0,04	0,068	0,096	0,128	0,152
Cuivre	0,01	0,017	0,024	0,032	0,038
Bore	0,13	0,221	0,312	0,416	0,494
Molybdène	0,006	0,010	0,014	0,019	0,023

[a] On n'a pas tenu compte de la conductivité électrique de l'eau. Pour calculer la conductivité électrique finale de la solution nutritive, ajouter aux conductivités indiquées la conductivité de l'eau utilisée (par exemple, si l'eau utilisée a une conductivité de 400 µS/cm et qu'on ajoute 8,5 L de chaque solution-mère à 1 000 L d'eau, la solution nutritive finale aura une conductivité électrique de 1 900 µS/cm).

Régulation du milieu ambiant pendant l'établissement des semis

Quel que soit le substrat utilisé, placer les plateaux de germination dans une petite serre ou dans une salle spéciale de multiplication (aucun éclairage n'est nécessaire à ce stade) et maintenir une température de 26 à 28 °C, jour et nuit, jusqu'à ce que les semis apparaissent à la surface du substrat (inspecter les plateaux tous les jours). S'il n'est pas rentable ou techniquement possible de chauffer la salle de multiplication à 26 °C, on peut fournir la chaleur nécessaire à la germination des semences en installant des canalisations ou des câbles de chauffage sous la table où se trouvent les plateaux. Plus la température de l'air est élevée dans la salle de multiplication pendant la germination, plus celle-ci est rapide et uniforme. Toutefois, comme une température élevée stimule la croissance rapide des semis, il est risqué d'avoir une température élevée de germination, parce que, si l'on tarde de quelques heures à retirer le

couvercle des plateaux, on risque d'avoir des semis trop allongés et d'épuiser les glucides. Quand les semis apparaissent, enlever le couvercle des plateaux, baisser à 22 °C la température diurne et nocturne et offrir un éclairage continu maximal. Maintenir ces conditions pendant plusieurs jours (5 à 7), jusqu'à ce qu'on puisse manipuler les semis sans les endommager, mais pas trop longtemps, pour éviter que les semis ne deviennent trop denses, ne s'étiolent et ne deviennent trop effilés.

Repiquage

Si l'on sème les graines directement dans des pots (de 10 cm de diamètre, de préférence), il n'est pas nécessaire de transplanter les semis. Quand on sème les graines dans des plateaux, il faut transplanter par la suite les semis aux pots ou blocs de laine de roche. Les semis transplantés poussent mieux que les semis repiqués. La transplantation des semis laisse le système racinaire intact, tandis que le repiquage perturbe et sectionne de nombreuses racines. La transplantation des semis de concombres doit se faire avec beaucoup de soin, parce que les racines de concombre se développent rapidement. Si les jeunes racines, qui sont les plus fonctionnelles, sont brisées pendant la transplantation, le jeune plant ne peut absorber suffisamment d'eau, subit un choc profond et, dans de nombreux cas, dépérit.

Pots et sol

On peut se servir de pots réutilisables en plastique, en terre cuite ou en papier ou encore de douilles de tourbe comprimée à usage unique ou de blocs de tourbe. De nombreux producteurs utilisent un mélange stérilisé de terre végétale et de tourbe de bonne qualité. Dans le monde entier, on tend de plus en plus à substituer les mélanges à base de tourbe aux mélanges à base de sol, parce qu'il est difficile d'obtenir d'année en année un sol qui possède les qualités voulues.

Éviter de changer trop souvent le substrat utilisé pour la culture des jeunes plants, parce que ceux-ci réagissent différemment à des substrats différents. L'expérience qu'un producteur acquiert au fil des années en utilisant un substrat donné risque de ne pas s'appliquer entièrement à la culture dans d'autres substrats.

Bien que cela puisse paraître coûter plus cher, l'emploi de grands pots (10 cm de diamètre) permet aux producteurs de garder leurs plants plus longtemps dans la salle de multiplication, qui coûte moins cher à chauffer que l'ensemble de la serre. En outre, une plus longue période de multiplication exige une plus longue utilisation de l'éclairage artificiel quand cet éclairage est disponible. Enfin, l'emploi de grands pots pour la culture des jeunes plants a souvent donné des rendements précoces plus élevés. Les pots peuvent être réutilisés, mais doivent d'abord être lavés et trempés dans une solution d'eau de Javel (10 %) ou de tout autre désinfectant approuvé.

Si les semis doivent être transplantés dans le sol, il faut utiliser de la terre végétale pour remplir les pots. Éviter de modifier les mélanges recommandés, car cela risque de donner de très mauvais résultats. Un sol de serre bien stérilisé qui a une bonne texture et une bonne structure est un excellent substrat pour la culture des semis. Il est vivement recommandé de lessiver abondamment le sol après la stérilisation afin d'éliminer les sels excédentaires, qui peuvent endommager les semis, et de réduire la teneur en éléments nutritifs, notamment en azote. Quand on utilise un sol pauvre en éléments nutritifs, il est plus facile de maîtriser la croissance des plants au moyen de la solution nutritive.

Si l'on compte cultiver les jeunes plants dans des sacs de tourbe ou dans d'autres systèmes à base de tourbe, il faut, pour remplir les pots, utiliser un mélange de tourbe commercial qui a fait ses preuves ou préparer un mélange maison en suivant les recommandations données dans le tableau 5.

Tout de suite après le transfert des semis aux pots, il faut les arroser abondamment jusqu'à ce que le substrat ait la capacité au champ voulue et se soit tassé autour des racines. Chaque irrigation suivante doit apporter une faible concentration d'engrais. Utiliser une solution nutritive d'une conductivité électrique globale de moins de 2000 µS/cm (voir les tableaux 6 et 7). L'arrosage doit être fait avec le plus grand soin pendant la multiplication. Il faut fournir aux jeunes plants suffisamment d'eau, mais éviter d'épuiser l'oxygène du substrat par un arrosage excessif. Comme il est difficile de juger du degré d'humidité du substrat dans les pots de plastique, il est recommandé de dépoter régulièrement deux ou trois plants pour s'assurer que le substrat au fond du pot est humide, mais pas trop. Les jeunes plants cultivés dans des pots de 10 cm doivent être arrosés tous les jours par beau temps. Par temps très ensoleillé, il se peut qu'il faille les arroser plusieurs fois par jour, tandis qu'en hiver, par temps couvert, il peut suffire de les arroser une fois tous les trois jours. Il faut arroser plus souvent quand on utilise de plus petits pots.

Blocs de laine de roche

Quand les semis sont prêts, il faut les transférer, sans endommager leurs racines, à des blocs de laine de roche de 10 cm. Comme ces blocs ont des cavités dont les dimensions varient, il faut commander des blocs dont les alvéoles ont les mêmes dimensions que les cavités des blocs de multiplication. Si l'on préfère semer directement dans le bloc de multiplication, il faut choisir des blocs dont les cavités sont juste assez grandes pour les graines.

De préférence, placer les blocs de laine de roche où se trouvent les semis sur un système à irrigation souterraine intermittente et utiliser les solutions nutritives décrites dans les tableaux 8 et 9. De temps en temps, submerger les blocs ou arroser par le dessus pour empêcher qu'une trop grande quantité de sels ne s'accumule sur le dessus des blocs et ne brûle les semis. Si l'on n'utilise pas de système à irrigation intermittente,

recouvrir d'une pellicule de plastique des tables mises de niveau et y placer les blocs. On peut perfectionner ce système en aménageant un rebord tout autour de la table afin de récupérer tout excédent de solution nutritive. Il est essentiel que les tables soient parfaitement de niveau pour assurer le drainage intégral de l'excédent de solution après chaque irrigation. Un drainage complet empêche une fluctuation excessive des quantités d'eau et d'oxygène fournies aux plants, ce qui se traduirait par une variation inacceptable de la croissance des plants.

Il faut vérifier soigneusement tout excédent de solution nutritive que l'on aura récupéré, ajuster sa teneur en éléments nutritifs et le pasteuriser avant de le réutiliser sur les jeunes plants. Le recyclage de la solution nutritive utilisée sur les jeunes plants est plus rentable dans le cas d'une grande exploitation. Pour irriguer moins souvent, on peut placer sur une couche de vermiculite (ou tout autre matériau absorbant) les blocs de laine de roche où se trouvent les semis, mais cette technique n'est pas recommandée, parce que certaines racines poussent à l'extérieur des blocs, ce qui ralentit et complique la transplantation.

Éclairage artificiel

Il faut, répétons-le, commencer à utiliser l'éclairage artificiel tout de suite après la germination. Comme une installation de dimensions relativement modestes suffit à ce stade, il est économiquement possible d'utiliser un éclairage à forte intensité. L'éclairage fluorescent (utilisé, de préférence, avec quelques appareils incandescents) et l'éclairage à vapeur de sodium à haute pression sont tous deux acceptables. De nombreux producteurs s'en servent pour obtenir un éclairement minimal de 100 μmol/s/m^2 (l'équivalent de 20 W/m^2, de 8 000 lux ou de 760 pieds bougies) dans les salles de croissance. L'éclairage fluorescent produit des plants légèrement plus courts et d'un vert-bleu plus foncé que les lampes à vapeur de sodium à haute pression, mais ces dernières reviennent moins cher à installer et à utiliser. Pendant les quelques premiers jours après le transfert alors que les pots peuvent être placés très près les uns des autres, il reste rentable de maintenir en permanence une intensité lumineuse élevée (100 μmol/s/m^2). Toutefois, à mesure que poussent les plants, on les espace de plus en plus pour éviter une trop forte densité et pour qu'elles ne deviennent pas chétives , et cela rend l'éclairage à forte intensité de moins en moins rentable. Le reste du temps, quand les plants sont dans la salle de multiplication, fournir, en plus de l'éclairage naturel, un éclairage complémentaire d'une intensité de 50 μmol/s/m^2 environ. Si le coût n'entre pas en jeu, il est recommandé de fournir en permanence la plus forte intensité lumineuse possible pour raccourcir le temps de multiplication et obtenir des plants plus lourds, plus vigoureux et plus résistants. Il n'y a aucun avantage à utiliser un éclairage incandescent à faible intensité pour compenser la courte durée des jours d'hiver.

Régulation de la température

Le tableau 10 résume les températures recommandées pour la culture des jeunes plants, ainsi que les températures déjà mentionnées pour la germination des semences et l'établissement des semis.

Tableau 10 Températures recommandées pour la culture des jeunes plants de concombre

Stade de croissance	Éclairage	Température de l'air (° C)[a]		Température des racines (° C)[a]	
		Jour	Nuit	Jour	Nuit
Germination des semences	Pas critique	28	28	28	28
Après la germination	Éclairage continu maximal disponible	24	22	26	26
Après le transfert dans les pots	Bon éclairage (été ou éclairage artificiel)	23	21	24	24
	Mauvais éclairage (hiver, pas d'éclairage artificiel)	22	20	24	22

[a] Dans le cas d'un éclairage artificiel continu, utiliser les températures diurnes recommandées.

Enrichissement au gaz carbonique

Pendant la multiplication, l'enrichissement de l'atmosphère au gaz carbonique, à une concentration de 1 000 vpm ($\simeq$ 1 000 ppm) rend les plants plus vigoureux, accélère la fructification et compense peut-être en partie un éclairage insuffisant. Les effets bénéfiques de l'enrichissement au gaz carbonique sont plus manifestes quand la température de l'air est relativement élevée et sont proportionnels à la durée de l'enrichissement. L'enrichissement doit se faire pendant la journée ou pendant toute partie de la nuit où l'on fournit un éclairage artificiel. Comme la culture des jeunes plants prend peu de place, il est rentable et vivement conseillé d'utiliser du gaz carbonique liquide (liquéfié sous pression), parce que sa pureté est garantie et qu'il est plus facile d'en régler la concentration avec précision. Une autre raison de préférer le gaz carbonique liquide au gaz carbonique dégagé par la combustion du gaz naturel ou du propane est

que cette dernière option augmente les risques d'une attaque des plants par les polluants gazeux.

Greffage

Le greffage est une technique utile quand la stérilisation du sol n'est pas possible ou ne permet pas toujours de lutter efficacement contre certaines maladies comme la pourriture noire des racines. Les semis des hybrides populaires de concombre sont généralement greffés sur des porte-greffe résistants comme le *Cucurbita ficifolia*. On sème généralement les graines du *C. ficifolia* quelques jours (5 à 6) après les semences de concombre. Comme leur tégument est dur, il faut parfois en découper une partie ou les faire prégermer. La figure 7 illustre diverses méthodes de greffe qui conviennent au concombre.

Tous les types de greffe exigent un couteau bien aiguisé et une surface de travail propre. Une lame de rasoir ou un scalpel constitue un outil idéal. Il faut éviter de contaminer les entailles avec le sol. Le greffage de type A (fig. 7A) est le plus rapide, mais c'est aussi celui où la croissance du plant est le plus souvent bloquée. Le greffage de type B (fig. 7B) est rapide lui aussi et donne une union stable, mais la croissance des plants est parfois bloquée. Le greffage de type C (fig. 7C) est le plus lent, mais donne généralement le meilleur taux de réussite.

Le greffage permet d'épargner le coût de la stérilisation du sol et d'utiliser des cultivars productifs qui n'ont pas une résistance suffisante aux maladies. Par contre, le greffage crée ses propres problèmes. Le point de greffe devient un obstacle à l'eau et aux éléments nutritifs qui vont des racines au sommet du plant, ainsi qu'aux photosynthétats qui vont du sommet du plant jusqu'aux racines. Le greffage peut donc être un facteur limitant dans la maximisation du rendement.

Par ailleurs, le greffage exige une main-d'œuvre qualifiée, qui coûte cher et n'est pas toujours facile à trouver. La différence de vigueur entre le greffon et le porte-greffe peut entraîner un écart important entre les diamètres respectifs des deux tiges (il est souhaitable d'avoir un diamètre minimal de 5 mm), ce qui ralentit la reprise de la greffe et réduit le taux de réussite.

Enfin, la manipulation répétée des plants lors du greffage peut contribuer à la propagation des maladies. Il est donc crucial de nettoyer le couteau régulièrement et de se laver les mains au lait pendant le greffage. Il faut s'efforcer d'avoir des semences propres au départ.

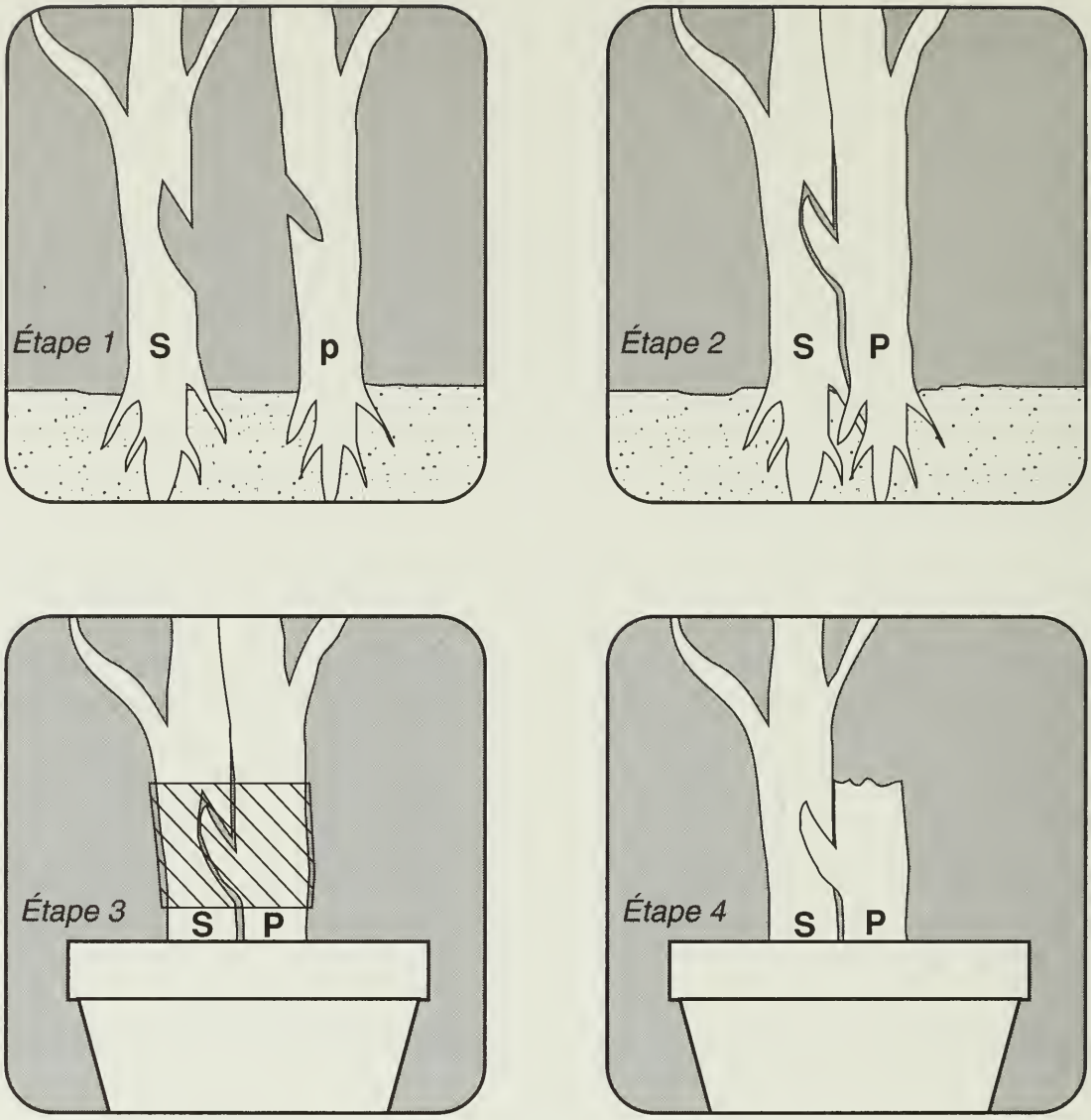

Fig. 7A Plants à racines nues, greffe sur table.

Étape n° 1 :
choisir un porte-greffe (R) et un greffon (S) de dimensions comparables. Faire une entaille vers le haut dans la tige de l'un et une entaille vers le bas dans la tige de l'autre.

Étape n° 2 :
joindre les deux tiges, qui sont alors retenues ensemble par les rabats de tissu.

Étape n° 3 :
lier les deux plants ensemble à l'aide de ruban adhésif et les planter dans un pot en veillant à ce que le point de greffe soit bien au-dessus du niveau du sol.

Étape n° 4 :
quand la greffe a réussi, enlever le dessus du porte-greffe et le ruban adhésif.

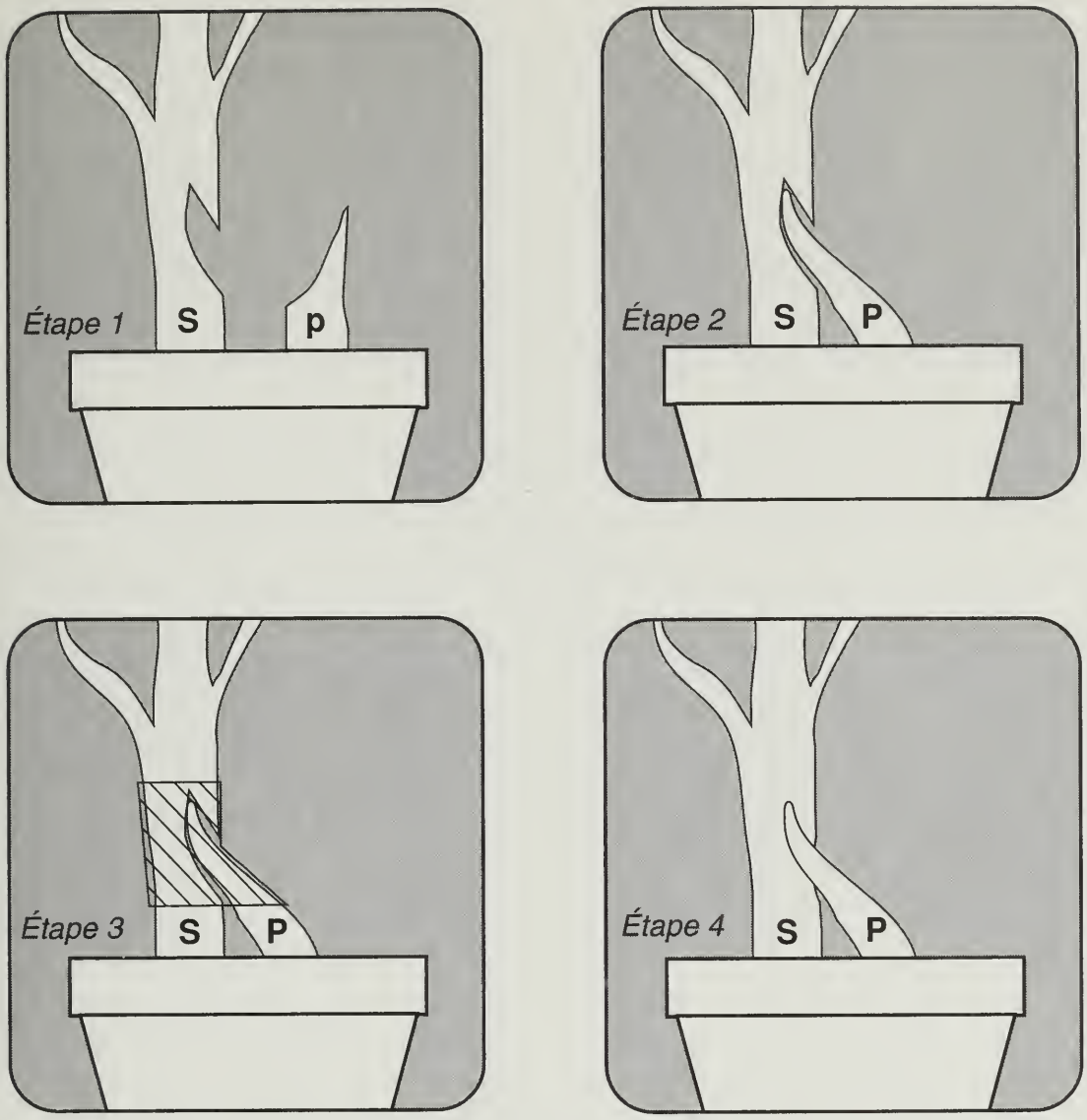

Fig. 7B Porte-greffe et greffons cultivés dans le même pot; étêtage immédiat du porte-greffe.

Étape n° 1 :
faire une entaille vers le haut dans le greffon (S) et étêter le porte-greffe (R) par une coupe en biseau.

Étape n° 2 :
placer le dessus de la tige du porte-greffe dans l'entaille faite dans la tige du greffon.

Étape n° 3 :
unir les deux plants ensemble à l'aide de ruban adhésif, après avoir enlevé toutes les feuilles qui pourraient gêner la mise en place du ruban.

Étape n° 4 :
enlever le ruban adhésif quand la greffe a réussi.

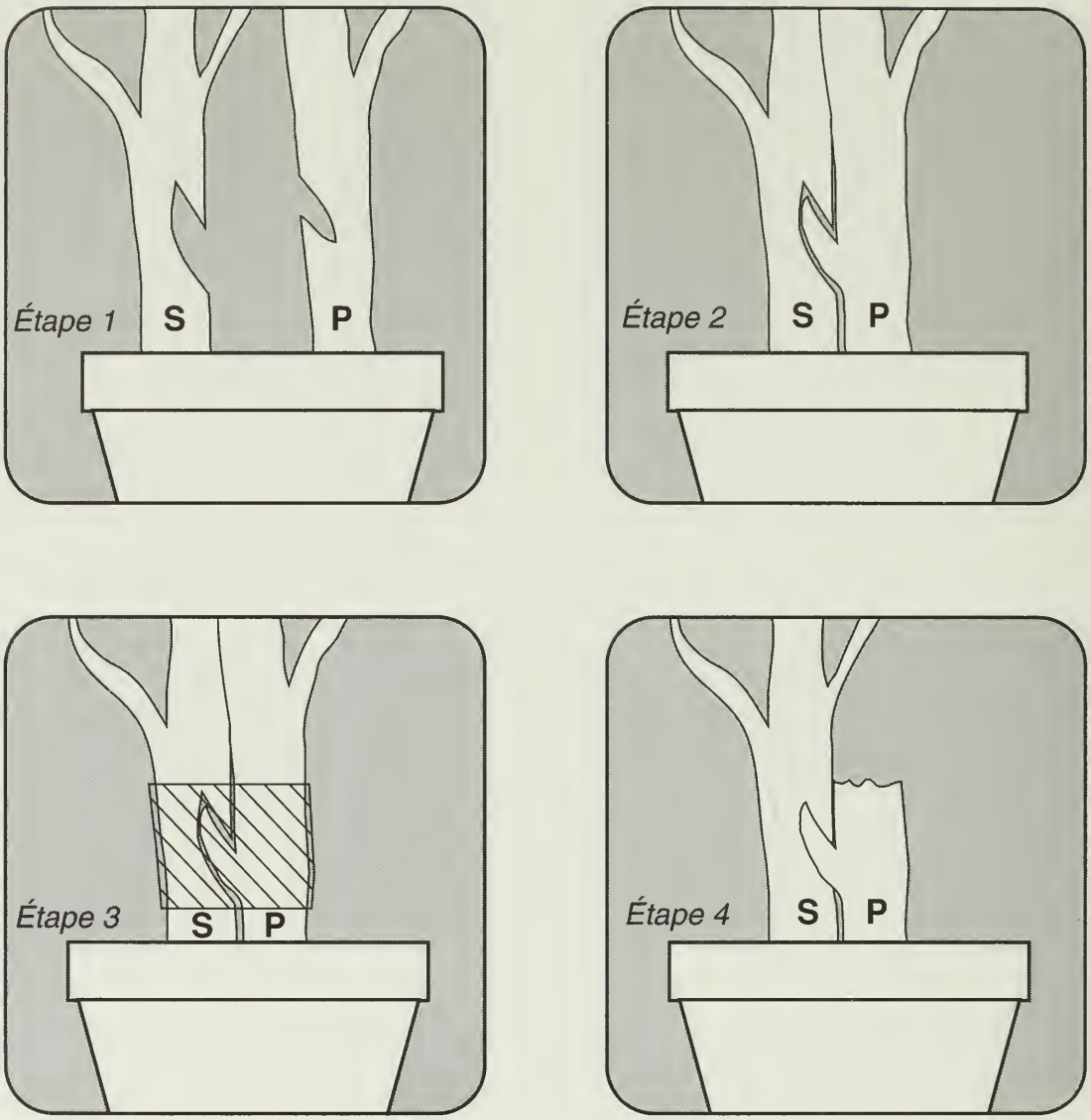

Fig. 7C Porte-greffe et greffons cultivés ensemble dans le même pot; étêtage retardé du porte-greffe.

Étape n° 1 :
planter le greffon (S) et le porte-greffe (R) à 10 mm l'un de l'autre dans le même pot et les cultiver ensemble jusqu'à ce qu'ils soient prêts au greffage. Faire une entaille vers le haut dans le greffon et une entaille vers le bas dans le porte-greffe.

Étape n° 2 :
unir les deux tiges, qui sont alors retenues ensemble par les rabats de tissu.

Étape n° 3 :
attacher les deux plants ensemble à l'aide de ruban adhésif.

Étape n° 4 :
enlever le dessus du porte-greffe et le ruban adhésif quand la greffe a réussi.

Espacement des plants

Il est généralement admis que chaque plant exige entre 0,70 et 0,80 m^2. Pour bien faire, il faut avoir le même espacement entre les rangs qu'entre les plants d'un même rang. On peut toutefois planter en doubles rangées pour faciliter les travaux entre les plants. Placer les deux premiers rangs à 80–120 cm l'un de l'autre, puis laisser une allée de 140–200 cm avant de placer deux autres rangs espacés de 80–120 mm. Répéter ce processus aussi souvent qu'il le faut. Les poteaux, canalisations de chauffage et autres aménagements de la serre peuvent influencer la densité des plants, notamment l'espacement des rangs.

Des facteurs comme le cultivar, la saison et le substrat influent sur l'espacement entre les plants. Laisser un espace de 45 à 60 cm entre les plants d'un même rang, et plus dans le cas de cultivars vigoureux qui ont de grandes feuilles. Les concombres de fin du printemps et de début de l'automne peuvent être moins espacés parce qu'ils profitent d'un meilleur éclairage. Les plants cultivés dans la laine de roche ou dans des sols à texture fine (forte teneur en argile) tendent à être moins vigoureux (c'est-à-dire à avoir de petites feuilles), ce qui veut dire qu'on peut les planter plus près les uns des autres. L'espace entre les plants et entre les rangs dépend du système de palissage utilisé. Bien qu'il soit important d'optimiser l'utilisation de l'espace dans la serre, une trop forte densité tend à produire des fruits plus petits et à favoriser les maladies des feuilles.

Taille et palissage

Principes généraux

La taille fait intervenir une série de décisions, qui reposent sur les concepts fondamentaux de la croissance végétale. La croissance a lieu quand l'eau et les éléments nutritifs absorbés par la plante sont transportés jusqu'aux feuilles et se combinent avec des glucides (formés par photosynthèse) pour produire divers aliments végétaux. Toute réduction de la surface foliaire réduit donc la quantité d'aliments végétaux qui est produite et, conséquemment, la croissance de la plante. Bien que la taille porte normalement les tiges restantes à s'allonger et à accroître leur surface foliaire, particulièrement près du point de coupe, un plant non taillé atteint de plus grandes dimensions et un plus grand poids. La taille est donc un processus nanifiant.

Les principales raisons pour lesquelles on taille les plants sont les suivantes :

- pour aider le plant à se rétablir après une lésion des racines
- pour enlever des parties mortes ou endommagées
- pour éliminer ou limiter une croissance indésirable
- pour stimuler ou canaliser la croissance là où on le désire
- pour revivifier de vieux plants
- pour promouvoir la production de fleurs et de fruits

- pour faciliter la pénétration de la lumière dans le feuillage afin d'optimiser l'utilisation de l'éclairage
- pour exposer les fruits à la lumière quand cela est bénéfique.

La taille et le palissage des concombres de serre créent les conditions propices à la production maximale de fruits de grande qualité, en établissant et en maintenant

- une charge de fruits optimale
- une surface foliaire maximale (aucune lumière n'atteint le plancher)
- une exposition uniforme de tout le feuillage (pour une absorption efficace de la lumière).

Bien que le palissage soit, pour des raisons pratiques, uniforme pour tous les plants, la taille permet d'ajuster la charge de fruits de chaque plant en fonction de sa vigueur végétative. Il est essentiel de maintenir un bon équilibre dans chaque plant pour atteindre une productivité maximale et obtenir des fruits de la meilleure qualité possible.

Quand la charge de fruits est lourde, un grand nombre de fruits ne se développent pas comme il le faut : ils sont déformés, incurvés, courts ou décolorés. Quand la charge devient excessive, tous les nouveaux fruits avortent. Pour éviter de surcharger les plants, il faut enlever les fruits excédentaires le plus tôt possible, en commençant par les fruits incurvés et effilés. Ne laisser qu'un fruit par aisselle.

Comme la production continue d'aisselles est essentielle au développement des fruits, il peut être nécessaire de recourir à une taille radicale pour stimuler la croissance. Dans ce cas, il est plus pratique et tout aussi efficace d'enlever des rameaux latéraux entiers que de raccourcir tous les rameaux latéraux.

En maintenant la charge voulue, on évite le stress général du plant et le gaspillage de photosynthétats, et on garantit une fructification régulière tout au long de la saison.

Quand la croissance végétative est forte, la production de fruits en souffre, au profit d'un développement foliaire excessif, qui vient aggraver la survégétation du plant. De plus, une croissance végétative excessive prive les fruits de lumière et en fait baisser la qualité (croissance lente, décoloration et, peut-être, côtelage excessif).

Systèmes de taille

Il faut toujours tailler les plants de concombre de façon à ne garder qu'une seule tige, et les palisser à l'aide d'une ficelle de plastique. Placer une extrémité de la ficelle sous le pot au moment de la plantation et attacher l'autre extrémité à un fil de fer horizontal, tendu à 1,8-2,5 m au-dessus de la rangée de pots. À mesure qu'il pousse, le plant s'enroule autour de la ficelle. Au moins une fois par semaine, supprimer les rameaux latéraux ou les fruits ou encore les uns et les autres, selon le système de taille et de palissage utilisé. Quand le plant grandit et porte de nombreux fruits, utiliser des liens torsadés ou des pinces de plastique pour l'attacher à la ficelle. Éviter de supprimer les feuilles du bas du plant tant qu'elles sont saines et productives, à moins que cela ne soit

nécessaire pour améliorer la ventilation. Si les fils horizontaux sont bas (moins de 2 m), l'élimination prématurée du feuillage inférieur risque de nuire au rendement. Il faut laisser les feuilles sur au moins 1,5 m de tige. Dans les nouvelles serres plus hautes, on n'a pas à choisir entre une surface foliaire optimale et une bonne circulation de l'air, parce qu'il est possible de placer les fils horizontaux à bien plus de 2 m au-dessus des plants.

Les principaux systèmes de taille utilisés pour les concombres de serre sont le système en ombrelle classique, le système en ombrelle modifié et leurs variantes. En voici une brève description.

Taille en ombrelle classique

Voici la marche à suivre pour la taille en ombrelle classique (fig. 8a) :

Étape n° 1 : quand la tige principale atteint le fil horizontal (entre 2,0 et 2,5 m de hauteur), pincer le point de végétation, en laissant deux ou trois feuilles au-dessus du fil. Utiliser un petit morceau de ficelle ou une pince de plastique pour attacher la tige principale au fil de fer. Les deux ou trois feuilles qui se trouvent au-dessus de l'attache empêcheront le plant de s'affaisser sous le poids des fruits.

Étape n° 2 : supprimer tous les fruits et rameaux latéraux jusqu'à une hauteur de 60 cm à partir de la base.

Étape n° 3 : supprimer tous les fruits sur les 60 cm suivants de la tige principale, mais laisser les rameaux latéraux pousser jusqu'à la première feuille avant de les pincer. Laisser un fruit se développer sur chaque rameau latéral.

Étape n° 4 : laisser un fruit et un rameau latéral pousser à partir de chaque aisselle sur le reste de la tige centrale; pincer les rameaux latéraux après la deuxième feuille et garder deux fruits sur chaque rameau latéral (c'est-à-dire un fruit à chaque aisselle du rameau latéral).

Étape n° 5 : laisser les deux rameaux latéraux les plus vigoureux du haut du plant pousser au-dessus du fil puis retomber le long de la tige principale. Pincer ces deux rameaux quand ils parviennent entre la moitié et les deux tiers de la distance qui sépare le haut du plant du sol.

Étape n° 6 : laisser se développer un rameau latéral secondaire à l'aisselle de chaque feuille du rameau latéral primaire, pincer chaque rameau latéral secondaire après la deuxième feuille et laisser deux fruits se développer sur chaque rameau latéral secondaire.

Étape n° 7 : supprimer tout rameau latéral dont les fruits touchent le sol.

Variantes Dans la première variante de la taille en ombrelle classique (fig. 8b), laisser la tige principale pousser le long du fil horizontal (en l'enroulant autour du fil) et la laisser continuer de pousser vers le bas au lieu d'un rameau latéral primaire comme dans la taille classique ci-dessus. Conduire ensuite un rameau latéral à partir d'une aisselle du sommet de la plante comme deuxième rameau latéral primaire, de l'autre côté de la tige principale.

Dans la deuxième variante (fig. 8c), laisser la tige principale pousser le long du fil horizontal jusqu'à ce qu'elle parvienne au plant suivant, puis pincer son extrémité. Laisser ensuite pousser vers le bas, de la façon normale, deux rameaux latéraux à partir d'aisselles de la partie horizontale de la tige principale.

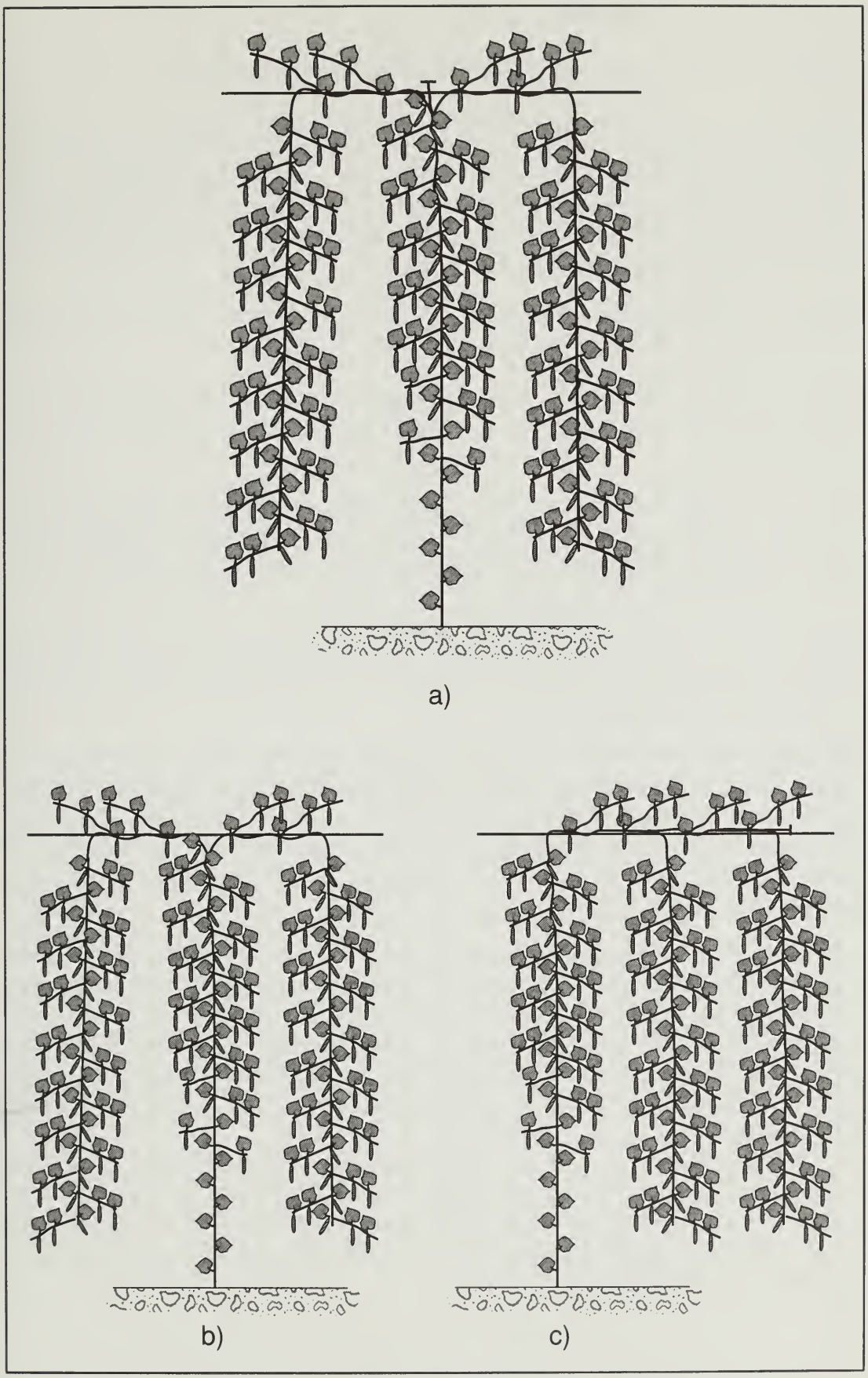

Fig. 8 Taille en ombrelle classique : *a)* forme standard; *b)* première variante; *b)* deuxième variante.

Taille en ombrelle modifiée

Voici la marche à suivre pour la taille en ombrelle modifiée (fig. 9a) :

Étape n° 1 : quand la tige principale atteint le fil horizontal (entre 2,0 et 2,5 m de hauteur), pincer le point de végétation en laissant deux ou trois feuilles au-dessus du fil. Utiliser un petit morceau de ficelle ou une pince de plastique pour attacher la tige principale au fil de fer. Les deux ou trois feuilles qui se trouvent au-dessus de l'attache empêcheront le plant de s'affaisser sous le poids des fruits.

Étape n° 2 : supprimer tous les fruits et rameaux latéraux sur une hauteur de 0,8 - 1,0 m à partir de la base.

Étape n° 3 : continuer de supprimer tous les rameaux latéraux, mais laisser un fruit se développer à partir de chaque aisselle sur le reste de la tige principale.

Étape n° 4 : laisser deux rameaux latéraux du sommet du plant pousser au-dessus du fil puis retomber le long de la tige principale (un de chaque côté). Pincer les rameaux latéraux primaires avant que tout fruit qui y pousse puisse toucher le sol.

Étape n° 5 : supprimer toutes les tiges secondaires sur les rameaux latéraux primaires et ne laisser qu'un seul fruit se développer à chaque aisselle des rameaux latéraux.

Étape n° 6 : quand les rameaux latéraux primaires vieillissent et cessent de produire, laisser de nouvelles tiges secondaires se développer au sommet du plant et répéter les étapes 4 et 5. Avant de laisser de nouveaux rameaux latéraux pousser vers le bas, il faut s'assurer qu'ils passent d'abord sur le fil horizontal, pour être bien supportés et bien exposés à la lumière.

Variantes Dans la première variante de la taille en ombrelle modifiée (fig. 9b), laisser la tige principale pousser le long du fil horizontal (en l'enroulant autour du fil) et la laisser continuer de pousser vers le bas au lieu d'un rameau latéral primaire comme dans la taille ci-dessus. Conduire ensuite un rameau latéral à partir d'une aisselle du sommet du plant comme deuxième rameau latéral primaire, de l'autre côté de la tige principale.

Dans la deuxième variante (fig. 9c), laisser la tige principale pousser le long du fil horizontal jusqu'à ce qu'elle parvienne à la plante suivante, puis pincer son extrémité. Laisser ensuite pousser vers le bas, de la façon normale, deux rameaux latéraux à partir d'aisselles de la partie horizontale de la tige principale.

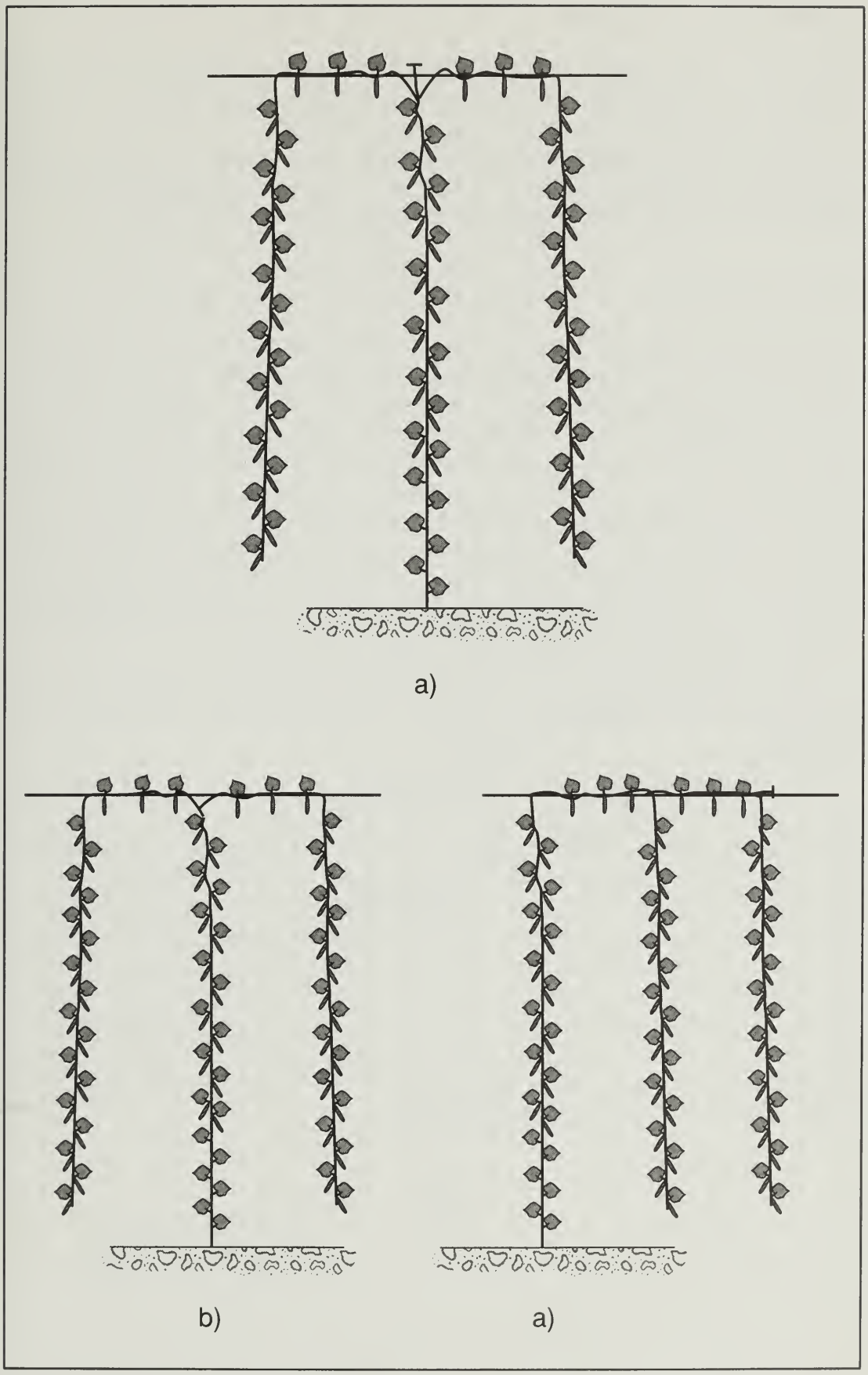

Fig. 9 Taille en ombrelle modifiée : *a)* forme standard; *b)* première variante; *c)* deuxième variante.

Systèmes de palissage

Les cultivars modernes de concombre cultivés en serre ont gardé la tige fragile qui caractérisait leurs ancêtres sauvages. Il faut donc les palisser quand on les cultive avec une seule tige verticale.

Les principaux systèmes de palissage du concombre sont le cordon horizontal, le cordon vertical, le cordon incliné (cordon en V) et l'arc anglo-normand. Voici une brève description de ces systèmes.

Cordon horizontal

Les plants que l'on compte palisser en cordon horizontal (fig. 10) doivent être placés en doubles rangées espacées de 120 à 140 cm. Une allée de 180 à 200 cm doit être aménagée entre chaque double rangée et la double rangée suivante. L'espacement des plants dans chaque rangée peut varier entre 40 et 60 cm, en fonction de la densité de plantation recherchée. Placer les fils horizontaux directement au-dessus des rangées de plants, à une hauteur de 2,0 à 2,5 m (selon ce que permet la structure de la serre et ce qu'il est commode de faire; placer le fil le plus haut possible). À la même hauteur, installer un nombre variable de fils horizontaux, parallèles aux rangées de plants, au-dessus des allées, pour former le support nécessaire à une ramure horizontale.

Pour commencer, conduire les plants verticalement le long et autour des ficelles de support en plastique. Quand ils atteignent les fils horizontaux, faire pousser les plants horizontalement au-dessus des allées.

Selon l'espacement des plants dans la rangée, pincer la tige principale à la verticale du milieu de l'allée ou quand elle atteint la verticale de l'autre côté de l'allée. Tailler ces plants selon le système en ombrelle modifié. Toutefois, au lieu de laisser pousser verticalement les rameaux latéraux primaires et toute tige subséquente, il vaut mieux les faire pousser sur les fils horizontaux et ne laisser pendre que les fruits. L'un des grands inconvénients de cette méthode de palissage est qu'il faut constamment attacher les nouvelles tiges aux fils pour maintenir la forme de ramure voulue, notamment pendant la période de la récolte. Par contre, on a besoin d'un moins grand nombre de rangées (d'où de grandes économies en substrat et en main-d'œuvre) et on obtient des fruits plus droits (plus commercialisables).

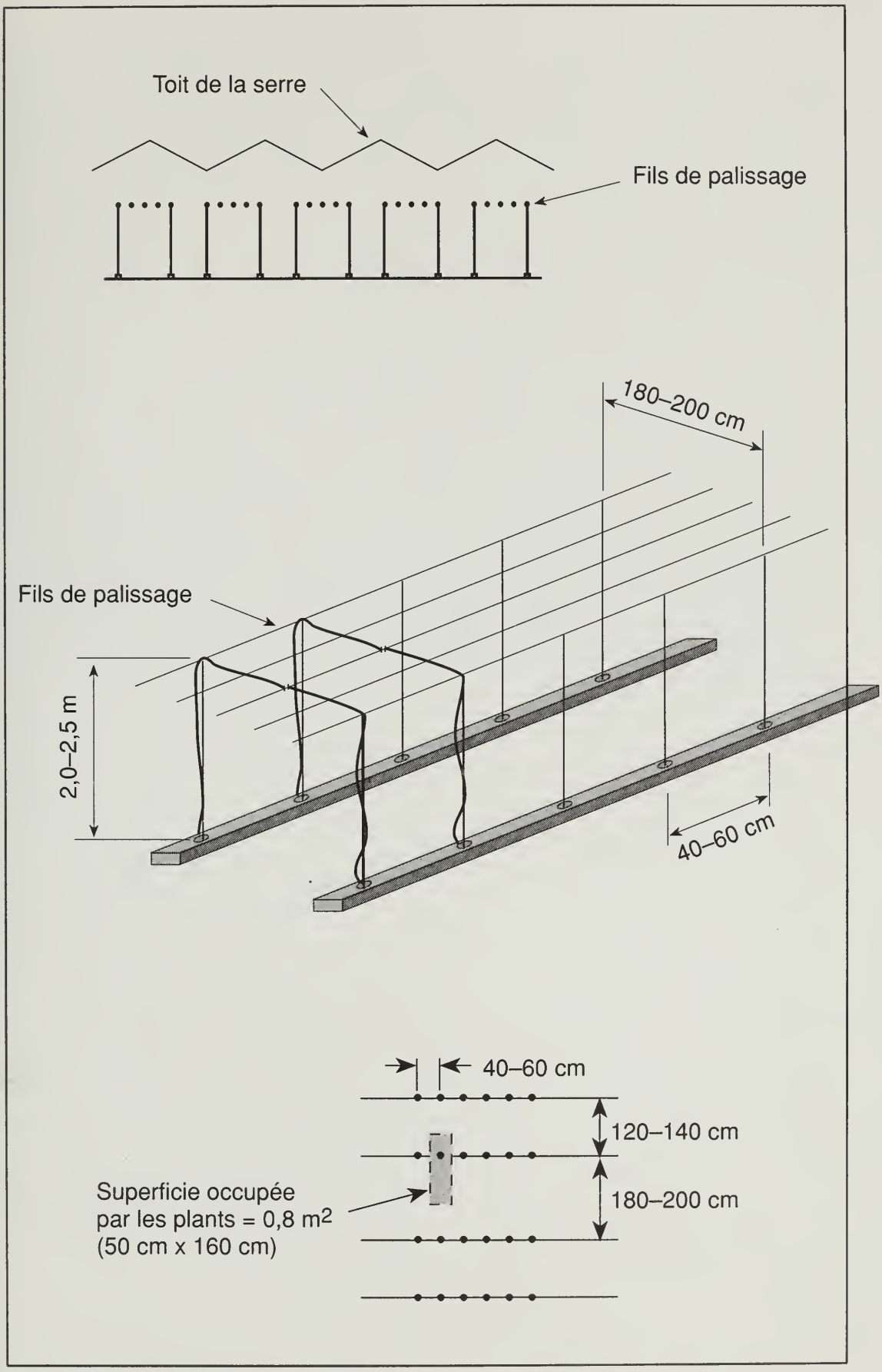

Fig. 10 Le cordon horizontal.

Cordon vertical

Les plants que l'on compte palisser en cordon vertical (fig. 11) doivent être placés en doubles rangées espacées de 100 à 120 cm. Une allée de 140 à 160 cm doit être aménagée entre chaque double rangée et la double rangée suivante. L'espacement des plants dans chaque rangée peut varier entre 50 et 70 cm, en fonction de la densité de plantation recherchée. Placer les fils horizontaux directement au-dessus des rangées de plants, à une hauteur de 2,0 à 2,5 m (selon ce que permet la structure de la serre et ce qu'il est commode de faire; placer le fil le plus haut possible). Commencer par faire pousser chaque plant verticalement le long et autour de la ficelle de plastique puis le long et autour du fil de fer horizontal, jusqu'à ce qu'il parvienne au plant suivant. Tailler ces plants selon la méthode en ombrelle modifiée ou, si l'éclairage est exceptionnellement bon et si l'on dispose d'une main-d'œuvre qualifiée bon marché, selon la méthode en ombrelle classique. L'infrastructure de support minimale exigée et la simplicité du système en font le mode de palissage le plus attrayant et le plus populaire. Toutefois, les recherches et l'expérience dans la plupart des régions du Canada indiquent que ce système n'est peut-être pas toujours celui qui permet de maximiser l'absorption de lumière ou la productivité. Le palissage en cordon vertical a l'avantage d'offrir un bon rendement précoce, mais ses effets réels sur le rendement total restent encore à déterminer.

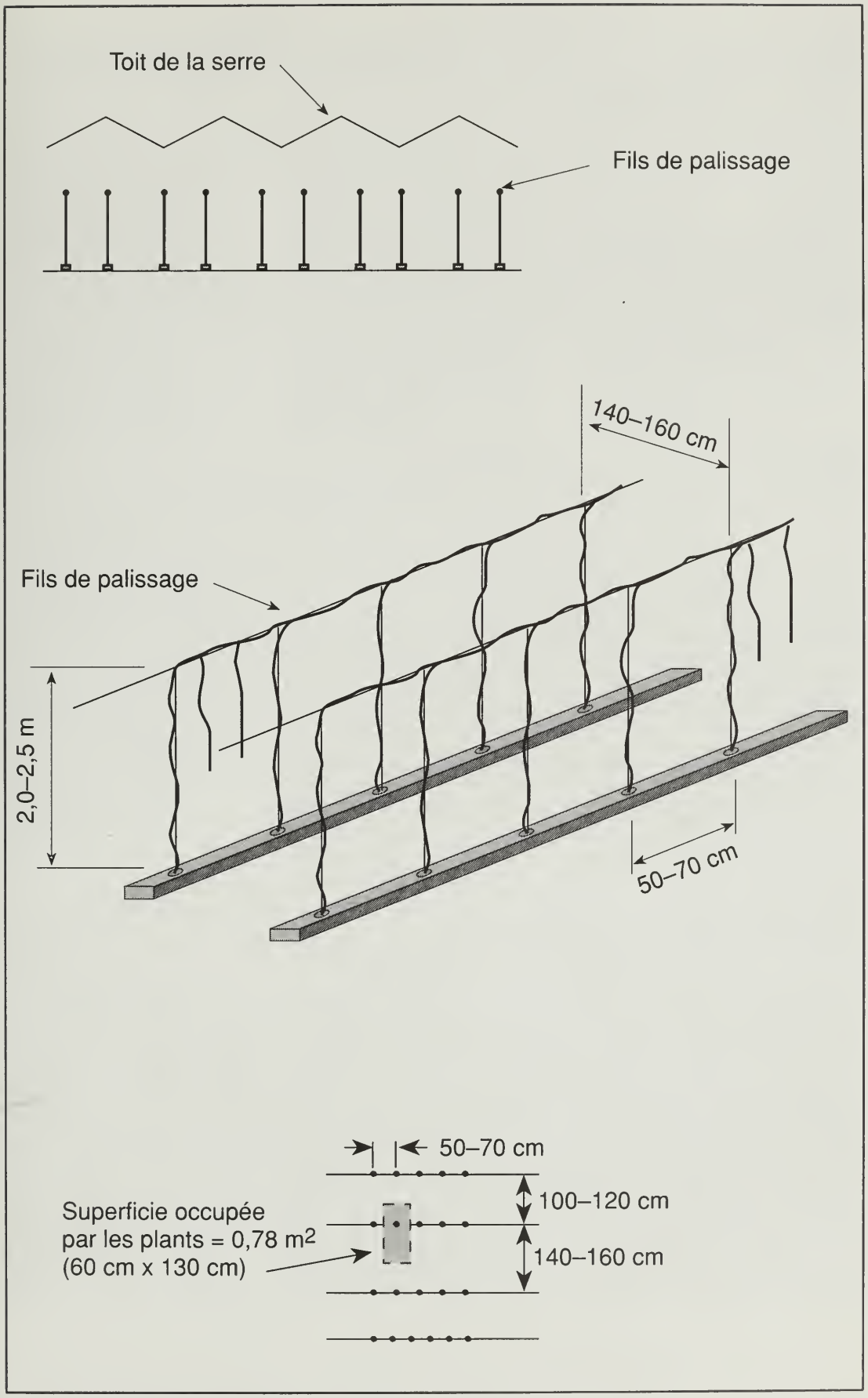

Fig. 11 Le cordon vertical.

a
b
c
d
e
f
g
h
i

◀ **Planche I Action de la température de l'air du jour et de la nuit (ATD et ATN, respectivement) sur la croissance et le développement des concombres sans graines cultivés en serre; printemps 1993, complexe de neuf mini-serres à la Station de recherches de Harrow.**

a **Couverture : verre (ATD=18 °C, ATN=16 °C);**
b **Couverture : polyétylène double (ATD=18 °C, ATN=18 °C);**
c **Couverture : acrylique (ATD=18 °C, ATN=20 °C);**
d **Couverture : acrylique (ATD=21 °C, ATN=16 °C);**
e **Couverture : verre (ATD=21 °C, ATN=18 °C);**
f **Couverture : polyétylène double (ATD=21 °C, ATN=20 °C);**
g **Couverture : polyétylène double (ATD=24 °C, ATN=16 °C);**
h **Couverture : acrylique (ATD=24 °C, ATN=18 °C);**
i **Couverture : verre (ATD=24 °C, ATN=20 °C).**

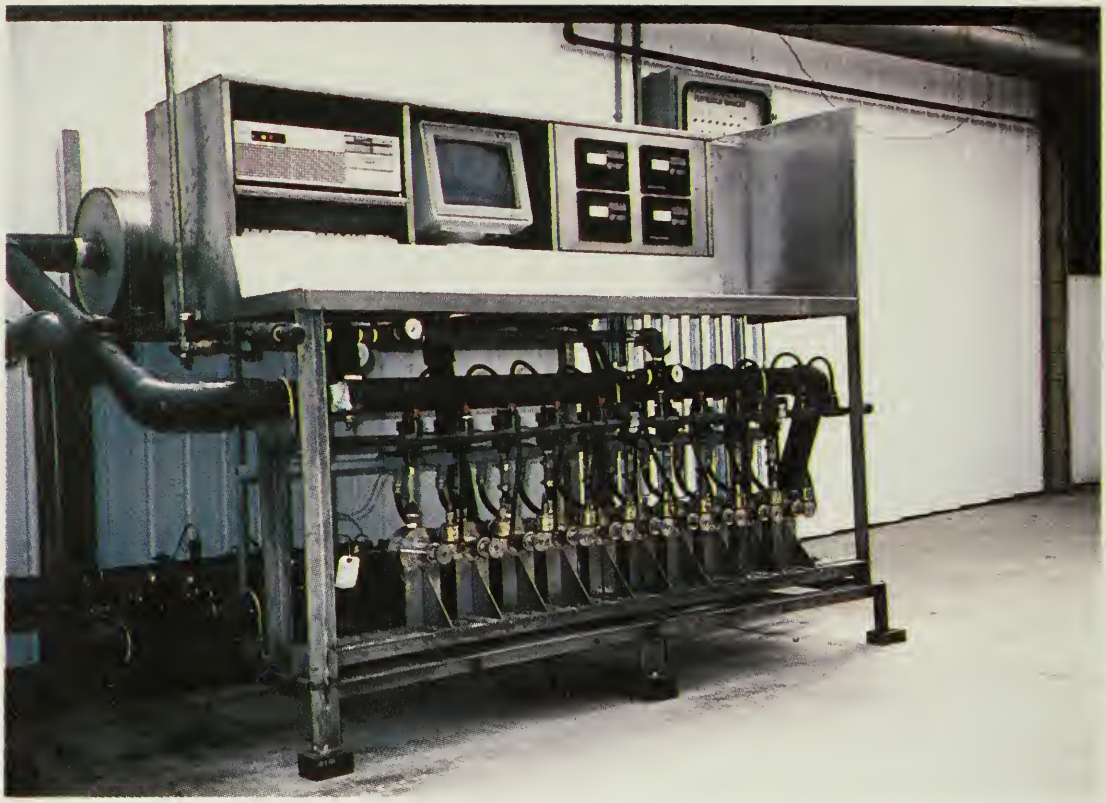

Planche II Le Harrow Fertigation Manager® (HFM®), un système informatisé d'injection d'engrais multiples (Brevet U.S.A. #5 184 420) qui permet l'application précise d'eau et d'éléments nutritifs adaptée aux différents besoins d'une grande gamme de cultures. (Harrow Fertigation Manager® et HFM® sont des marques déposées du Labbate Climate Control Systems Inc., 509 Hwy #77, R.R. #5, Leamington, Ont.)

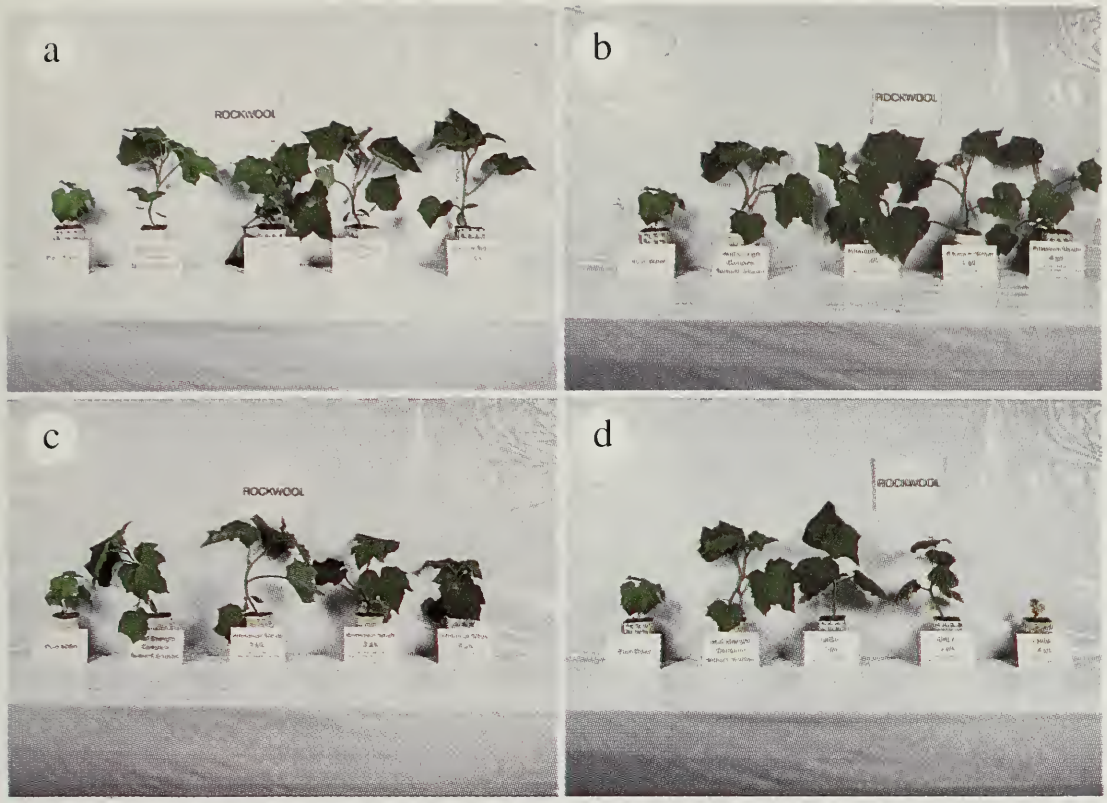

Planche III Action de la solution (nitrate/ammonium) et du taux d'azote sur les plants de concombres sans graines cultivés sur roche de laine en serre.

Taux d'application des engrais (*de gauche à droite*):

1. **Eau plate (aucun engrais)**
2. **Deux fois plus faible qu'une solution normale d'engrais (HSCNS) (voir tableau 9, approx. CE=1000 μS/cm)**
3. **HSCNS + 1 g/L d'azote supplémentaire**
4. **HSCNS + 2 g/L d'azote supplémentaire**
5. **HSCNS + 4 g/L d'azote supplémentaire**

a **Action du nitrate de calcium (100 % de nitrate);**
b **Action du nitrate de potassium (100 % de nitrate);**
c **Action du nitrate d'ammonium (50 % de nitrate, 50 % d'ammonium);**
d **Action de l'urée (100 % d'ammonium).**

Planche IV Système de culture des concombres sans graines cultivés en serre en sol ou hors sol :

a **système de culture classique en sol;**
b **système de culture avec irrigation goutte-à-goutte et sacs de tourbe de Harrow;**
c **système de culture dans des sacs verticaux remplis de sciure;**
d **système de culture sur des plaques de laine de roche;**
e **système de culture en gros pots remplis de granulés d'argile expansée;**
f **plants de test sur NFT écroulés à cause de la mort des racines.**

Cordon incliné (cordon en V, palissage en V)

Les plants que l'on compte palisser en cordon incliné (fig. 12) doivent être placés en doubles rangées espacées de 140 à 160 cm. Une allée de 160 à 180 cm doit être aménagée entre chaque double rangée et la double rangée suivante. L'espacement des plants dans chaque rangée peut varier entre 40 et 60 cm, en fonction de la densité de plantation recherchée. Placer deux fils horizontaux espacés de 60 à 80 cm au-dessus de chaque rangée de plants, à une hauteur de 2,0 à 2,5 m (selon ce que permet la structure de la serre et ce qu'il est commode de faire; placer le fil le plus haut possible). Commencer par faire pousser chaque plant en diagonale le long et autour de ficelles qui vont alternativement à l'un des fils horizontaux puis à l'autre, et, plus tard, le long et autour du fil de fer horizontal (sur une distance égale au double de l'espacement des plants dans la rangée), jusqu'à ce qu'il parvienne au plant suivant incliné dans la même direction. En conséquence, les plants s'éloignent en diagonale de la rangée où ils sont plantés, guidés par les fils de support, pour former une ramure en V. Comme dans le système de palissage en cordon horizontal, le nombre réduit de rangées fait économiser beaucoup en substrat et en main-d'œuvre. De plus, vu l'inclinaison alternée des tiges principales,

- la lumière peut pénétrer plus facilement dans la ramure et se répartir de façon plus uniforme sur la surface foliaire
- les fruits, qui pendent de la tige principale, deviennent droits et ont une meilleure couleur (qualité)
- la distance entre les tiges devient le double de l'espacement des plants, ce qui facilite la taille et le palissage.

Les plants palissés en cordon incliné doivent être taillés selon le système en ombrelle modifié. Si l'éclairage est exceptionnellement bon et qu'on dispose d'une main-d'œuvre qualifiée bon marché, on peut les tailler selon le système en ombrelle classique.

Variantes Une variante possible du palissage en cordon incliné consiste à utiliser deux rangées de substrat, à faible distance l'une de l'autre (de 20 à 40 cm), au lieu d'une seule. Cette méthode est préférable quand on désire augmenter la quantité de substrat par plant ou réduire l'angle d'inclinaison des tiges principales.

La deuxième variante consiste à installer deux ou trois fils horizontaux supplémentaires pour offrir un meilleur support à la tige principale et empêcher les plants de s'écarter de la forme en V idéale et de pendre dans les allées, où ils pourraient gêner la circulation. Ces fils supplémentaires évitent par ailleurs le bris des tiges et des fruits lors de la récolte. Le cordon incliné, en particulier avec les fils horizontaux supplémentaires, est devenu très populaire dans certains pays d'Europe, où on croit qu'elle est capable de grands rendements.

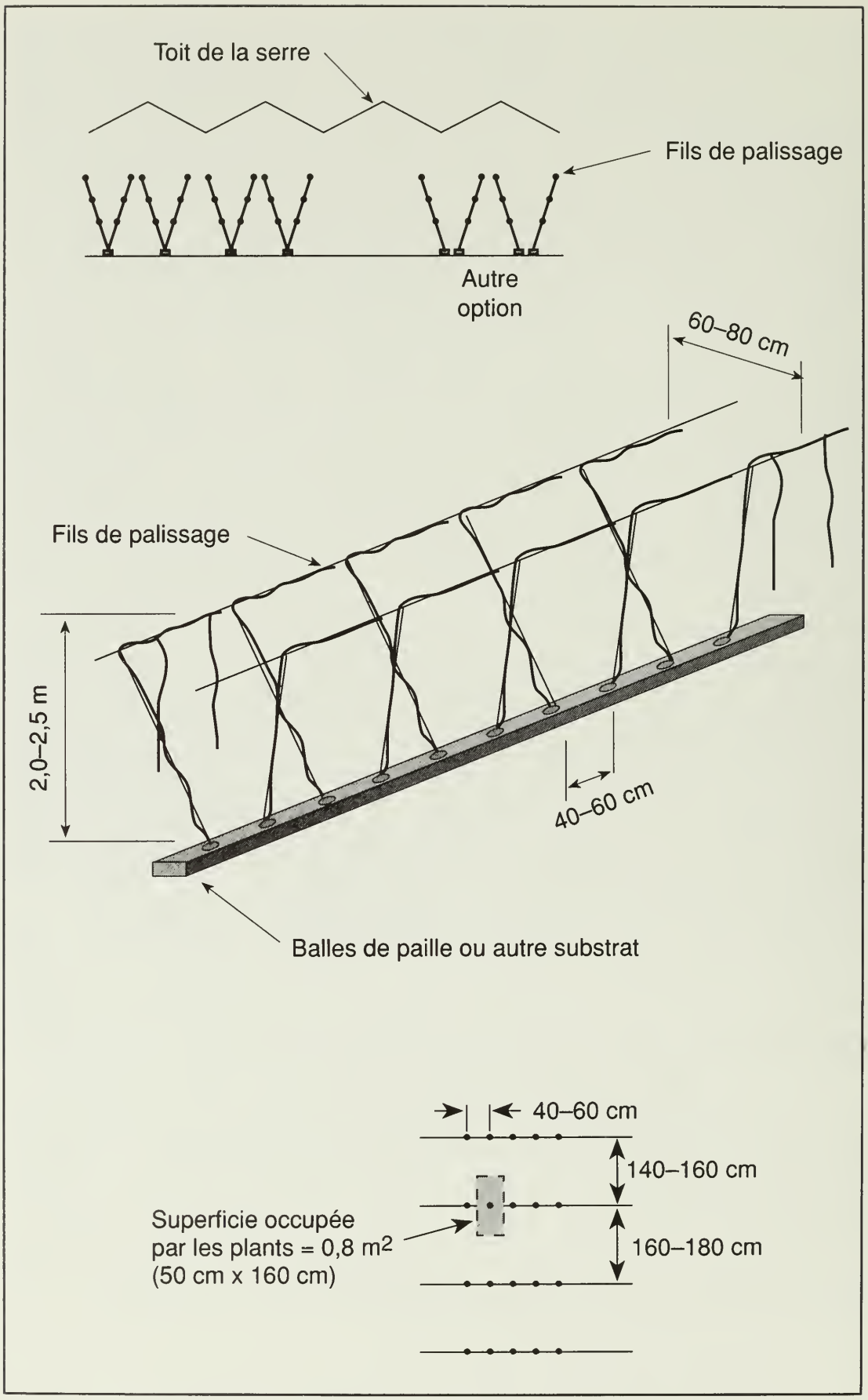

Fig. 12 Cordon incliné (cordon en V, palissage en V).

Arc anglo-normand

Ce système de palissage (fig. 13), comme son nom l'indique, provient des îles anglo-normandes, où il a été populaire pendant de nombreuses années. Depuis la disparition de la culture des légumes en serre dans ces îles, ce système de palissage est rarement utilisé, parce que son établissement et son maintien exigent une main-d'œuvre bien exercée. C'est donc principalement pour l'histoire que nous donnons ici une brève description de ce système.

Les plants sont placés en rangées simples espacées de 3,5 à 4,5 m. On avait généralement un arc dans les serres étroites et deux arcs dans les serres plus larges (de 30 pi). Les plants d'une même rangée sont peu espacés (de 20 à 30 cm), sauf quand on a deux rangées parallèles proches l'une de l'autre pour avoir plus de substrat par plant (auquel cas l'espacement entre les plants est de 40 à 60 cm, comme d'habitude). L'arc, composé d'une série de V inversés, a normalement une largeur de 3,5 à 4,5 m à sa base, une hauteur de 2,2 à 2,5 m au milieu de l'arc et une hauteur de 70 à 80 cm sur les côtés. L'armature de l'arc est composée d'un réseau complexe de fils horizontaux attachés à des supports de bois ou de métal et est en forme de V ou de U inversé. Au début, on laisse la tige principale pousser verticalement devant les deux premiers fils. De cette façon, la partie inférieure du plant peut accepter certains mouvements sans que la tige principale ne se brise ou ne sorte du substrat. Par la suite, on fait passer les tiges principales sur les autres fils horizontaux, on les attache à l'aide de ficelle ou d'attaches de plastique et on pince leur extrémité quand elles atteignent le sommet de l'arc. Les rameaux latéraux primaires qui se forment à chaque aisselle de la tige principale doivent être palissés perpendiculairement à la tige principale. On les attache aux fils horizontaux de la façon habituelle et on les pince après la deuxième feuille. Les rameaux latéraux secondaires qui se forment à chaque aisselle des rameaux latéraux primaires doivent être palissés et attachés perpendiculairement aux rameaux latéraux primaires (et aux fils de support). On les pince après la première ou la deuxième feuille, en fonction de la vigueur du plant, de la charge de fruits et de la surface foliaire sur l'arc. Pendant cette période de palissage, qui prend normalement 4 à 5 semaines après la plantation, on supprime tous les fruits qui se développent aux aisselles de la tige principale. Les premiers fruits récoltés sont ceux qui se forment aux aisselles des rameaux latéraux primaires. Comme les tiges et le feuillage recouvrent alors l'arc, aucun autre palissage n'est nécessaire. Il suffit alors de tailler le plant (pincer les tiges secondaires, supprimer les feuilles et tiges mortes ou vieillissantes, ainsi que les fruits non commercialisables) et faire passer les fruits au travers des fils pour qu'ils pendent à l'intérieur de l'arc.

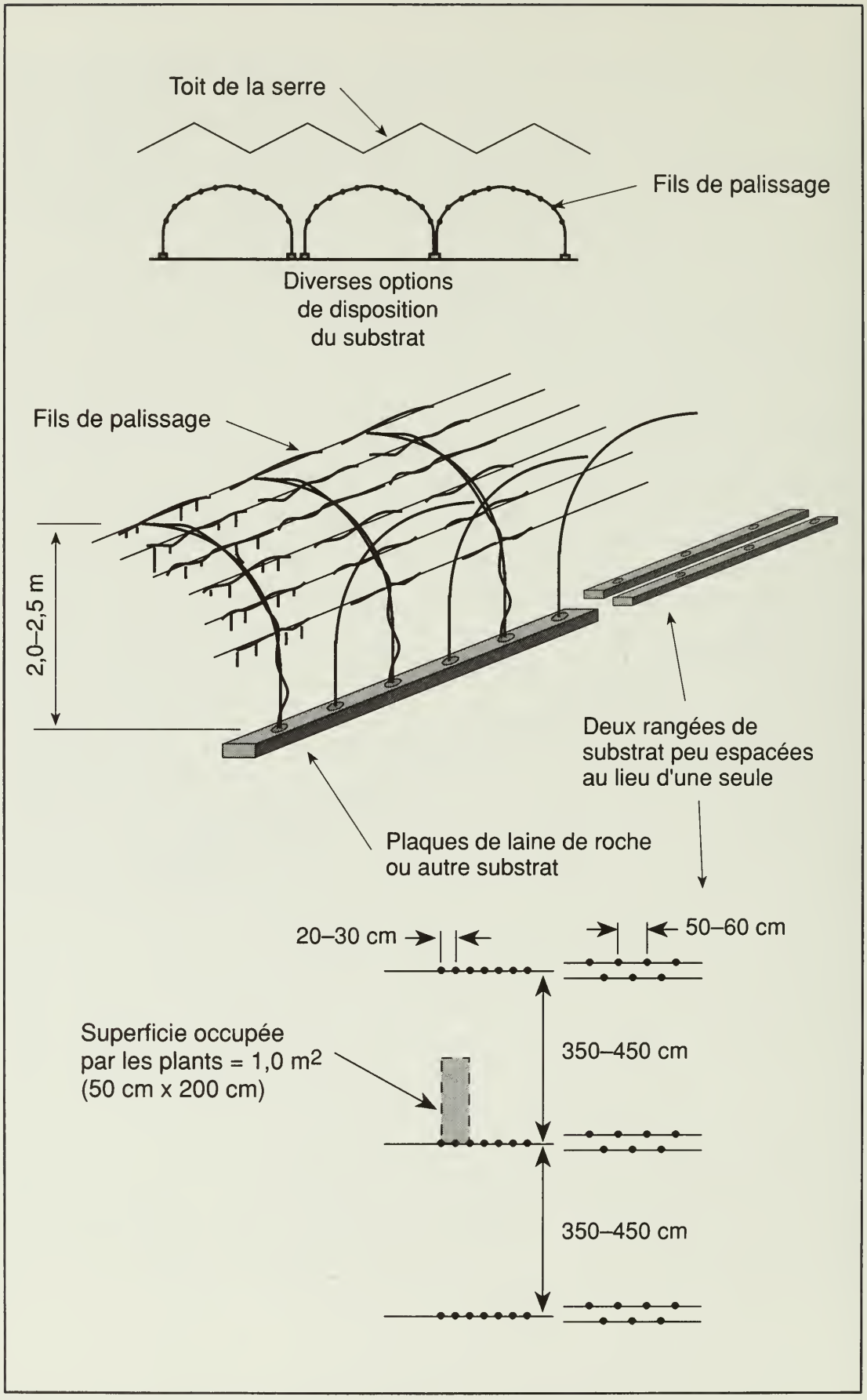

Fig. 13 L'arc anglo-normand.

L'aménagement de l'arc exige une grande main-d'œuvre et beaucoup d'habileté, mais il est relativement facile de maintenir la forme de ramure voulue. Le système offre des avantages certains : grande qualité des fruits, facilité de la récolte, économie de substrat en raison du faible nombre de rangs, et possibilité d'un rendement élevé pendant une plus longue période. Il existe plusieurs variantes de l'arc anglo-normand, mais leur description dépasse la portée de notre publication.

Choix d'un système de palissage et de taille

Les systèmes de palissage et de taille décrits ici peuvent paraître fort différents les uns des autres, mais ils ont tous le même objet : optimiser la surface et la répartition foliaires et parvenir à un équilibre optimal entre la croissance végétative (vigueur de la plante) et la fructification. Il est difficile de choisir un système de palissage. Les recherches n'aident qu'en partie parce qu'elles exigent des essais à grande échelle et doivent tenir compte de nombreux facteurs, dont la disponibilité et le coût d'une main-d'œuvre exercée.

En règle générale, le cordon vertical et le cordon horizontal exigent peu de main-d'œuvre et, notamment pendant la période chargée de la récolte, sont les plus faciles à utiliser. Par ailleurs, ils n'exigent que des systèmes de support simples et ne font pas appel à de grandes compétences techniques en palissage.

Les systèmes de palissage incliné (cordon incliné et arc anglo-normand) exigent de bonnes compétences techniques et des systèmes de support élaborés (notamment dans le cas de l'arc anglo-normand). Toutefois, c'est surtout en début de saison qu'il faut consacrer plus de temps à ces systèmes de palissage. Une grande partie de ce temps supplémentaire est récupéré plus tard, parce qu'il faut moins de temps pour récolter les fruits, qui sont plus exposés et plus accessibles. Enfin, les fruits sont de bonne qualité parce qu'ils pendent librement.

Pour ce qui est des systèmes de taille, le système en ombrelle modifié et ses variantes exigent peu de compétences techniques et, dans la plupart des cas, donnent des résultats satisfaisants. Le système en ombrelle classique peut être préférable quand l'éclairage est exceptionnellement bon (fin de printemps, été, début d'automne) et quand on compte avoir une courte culture.

Éclaircissage

Une trop grande fructification peut être un problème. Pour empêcher les plants de s'épuiser et pour obtenir de plus gros fruits, on a recours à l'éclaircissage sélectif afin de limiter le nombre de fruits par plant. Il s'agit là d'une technique radicale, qu'il faut donc utiliser avec circonspection. Le nombre optimal de fruits par plant varie en fonction du cultivar et, encore plus, en fonction des conditions de croissance. Toutefois, l'éclaircissage entraîne invariablement la production de gros fruits qui se

vendent plus cher, et les producteurs risquent de sous-estimer la production potentielle ou de faire des prédictions par trop pessimistes des conditions météorologiques. Ils risquent de supprimer un trop grand nombre de fruits et, donc, de limiter plus qu'il n'en faut la production. L'éclaircissage des fruits est sans contredit d'une utilité maximale quand il est pratiqué par des producteurs expérimentés qui peuvent s'en servir pour maximiser leurs recettes. Les fruits à supprimer doivent être enlevés dès qu'ils peuvent être manipulés, avant de devenir trop gros.

Récolte et entreposage

Après tous les efforts et l'argent investis dans la production, il est essentiel de bien manipuler les fruits pendant la récolte et le transport jusqu'aux marchés.

La plupart des producteurs récoltent les fruits deux fois par semaine et même trois fois par semaine quand le temps est chaud. Il faut cueillir les fruits avec beaucoup de soin et les placer dans des contenants de plastique mou ou, mieux encore, dans des contenants coussinés pour éviter de meurtrir et d'endommager les fruits. La taille des fruits au moment de la récolte est importante. Si les fruits sont trop petits, cela fait baisser les recettes, parce que les plus gros fruits se vendent plus facilement et à un meilleur prix. Par contre, en laissant les fruits trop longtemps sur le plant, on obtient des fruits qui se conserveront moins longtemps après la récolte et on empêche le développement de nouveaux fruits. Il faut s'efforcer de prévenir toute baisse de qualité des fruits pendant la récolte et le transport. On risque d'endommager les fruits de la couche inférieure si l'on remplit trop les caissettes ou si l'on empile trop les fruits.

Cueillir les fruits en début de matinée, quand le temps est encore frais. Mettre immédiatement les fruits à l'abri du soleil direct en les plaçant au frais et à l'ombre dans un endroit ventilé, pour que la température des fruits ne s'élève pas. Emballer chaque fruit individuellement dans une mince pellicule de plastique pour préserver son humidité et en prolonger la durée de conservation.

Utiliser un véhicule couvert pour transporter les fruits jusqu'au poste d'emballage, afin de protéger les fruits contre l'ensoleillement direct et contre les effets desséchants de l'air. Éviter de garer trop longtemps au soleil un camion chargé de concombres. Réduire au minimum les gains thermiques pendant le transport et entreposer immédiatement les produits au frais (12 °C) à l'arrivée. Les fruits entreposés dans des conditions idéales (de 10 à 13 °C, humidité relative de 90 à 95 %) ont une durée de vie prévue de 10 à 14 jours. Quand on entrepose les fruits en chambre froide, il faut éviter de trop empiler les caissettes ou de trop les serrer les unes contre les autres, parce que cela empêche celles du milieu de se refroidir suffisamment.

Éviter d'emballer et d'entreposer les concombres dans le même endroit que des fruits éthylénogènes comme les pommes, parce que cela les fait jaunir et accélère la maturation. Éviter d'entreposer et de transporter ensemble des tomates et des concombres. Après avoir retiré les fruits d'un lieu d'entreposage frais, il ne faut pas laisser la condensation se former à leur surface, surtout si les fruits ne sont pas emballés sous film rétractable. Prévenir la condensation en ventilant l'entrepôt pour le garder sec ou en y élevant graduellement la température avant la sortie des fruits. **Après la récolte, on ne peut que préserver la qualité des concombres, on ne peut pas l'améliorer.**

Culture classique dans le sol

La culture classique dans le sol (planche IV*a*) est le système de culture le plus simple. Elle consiste à planter et cultiver les concombres comme cela se ferait en pleine terre. La plantation est une étape importante dans la culture des concombres. Pour commencer, creuser une tranchée d'au moins 10 cm de profondeur et de 15 cm de largeur. Placer ensuite dans la tranchée les plants en blocs de sol ou en pots de tourbe et les enjauger avec 0,25 L de solution fertilisante de démarrage par plant (5 g de 10-52-17 par litre d'eau). Ne pas amasser trop de sol autour des plants. Arroser ponctuellement les plants en fonction des besoins pendant une semaine environ après la transplantation. Quand les plants se sont établis et que le risque de fonte des semis a diminué, irriguer régulièrement en fonction de ce qu'exigent le type de sol et l'intensité lumineuse. L'irrigation générale commence plus tôt sur les sols légers que sur les sols lourds.

Type de sol

Pour obtenir une production maximale, il faut offrir aux légumes de serre en général un sol bien aéré, à bonne capacité de rétention d'eau, riche en éléments nutritifs et exempt de pathogènes. Bien qu'on puisse cultiver les concombres de serre dans une grande variété de sols, les sols qui conviennent le mieux sont les loams, les loams sableux et certains loams limoneux, dans tous les cas avec une forte teneur en matières organiques (fig. 4). On peut utiliser d'autres types de sol, mais leur gestion est plus difficile et plus coûteuse. Les sols sableux grossiers, par exemple, ont une faible capacité de rétention de l'eau et des éléments nutritifs et, dans le cas de l'irrigation goutte-à-goutte, forment difficilement un cône. Les sols limoneux ont une structure instable, qu'un arrosage abondant tend à dissocier. Les loams argileux sont mal drainés et difficiles à lessiver et, quand ils sont humides, les façons culturales endommagent leur structure. Une bonne conduite peut

rendre presque n'importe quel sol apte à la culture de serre. L'adjonction de matières organiques, par exemple, permet d'améliorer les sols légers et les sols lourds. Si le drainage naturel est insuffisant, comme dans le cas de la plupart des loams argileux, limono-argileux et sablo-argileux, il faut installer un réseau de drainage souterrain. Le sol offre un support où existe un certain équilibre entre l'air, l'eau et les éléments nutritifs. Si cet équilibre est satisfaisant, les racines obtiennent l'eau et les éléments nutritifs dont elles ont besoin, et le plant croît rapidement.

Drainage

Installer un réseau de drainage dans les planches pour l'écoulement de toute eau excédentaire. Poser des canalisations de terre cuite, perforées ou non, de 10 cm de diamètre, en laissant un espace entre elles pour permettre l'expansion. Quelques canalisations de 7,5 cm font d'excellents joints coulissants entre les canalisations de 10 cm. Pour améliorer l'efficacité du drainage, recouvrir les tuyaux de nattes de fibre de verre conçues à cette fin ou de 2 cm de gravier. Poser les tuyaux à une profondeur suffisante pour qu'ils ne puissent être endommagés par un cultivateur rotatif ou d'autres pratiques culturales. Placer les tuyaux à une profondeur de 35 cm et à intervalles de 45 cm, avec une dénivellation de 10 cm sur 150 m. Les mêmes tuyaux, avec des perforations au fond ou sur les côtés, peuvent aussi servir à la stérilisation à la vapeur. Pour obtenir une stérilisation plus uniforme, raccorder les extrémités de rangées adjacentes de tuyaux à l'aide de raccords en L ou en T. Utiliser un collecteur pour amener la vapeur jusqu'aux rangées de canalisations. Ce collecteur, muni d'une conduite montante de 50 cm à chaque extrémité pour l'arrivée de la vapeur, s'étend sur la largeur de la serre et comprend des mamelons de 2 à 3 cm de diamètre et de 25 cm environ de longueur. Chaque mamelon est cimenté à une rangée de tuyaux. Le collecteur et chaque rangée de canalisations ne doivent pas dépasser 15 m, parce que, sur une plus longue distance, la vapeur se condense et assure une mauvaise stérilisation.

Pasteurisation du sol

Les sols de serre peuvent contenir des graines de mauvaises herbes, des insectes, des bactéries et des champignons qui nuisent aux plantes. Il peut en être de même des mélanges de culture, à moins que le fabricant ne garantisse qu'ils ont été stérilisés ou pasteurisés. On peut pasteuriser les sols et les mélanges de culture pour éliminer les organismes nuisibles, mais, de préférence, pas les organismes bénéfiques du sol. La vapeur ou le fumigant peut pénétrer rapidement et uniformément dans les sols très meubles, exempts de mottes, de gros blocs et de résidus végétaux non décomposés.

La durée et la température de traitement nécessaires à la destruction des organismes nuisibles sont les suivantes :

Mauvaises herbes (la plupart)	70 – 80 °C pendant 15 minutes
Insectes et acariens	60 – 71 °C pendant 20 minutes
Bactéries (la plupart)	60 °C pendant 10 minutes
Fusarium	57 °C pendant 30 minutes
Botrytis	55 °C pendant 15 minutes
Nématodes	55 °C pendant 15 minutes
Rhizoctonia	52 °C pendant 30 minutes
Sclerotinia	50 °C pendant 5 minutes
Pythium	46 °C pendant 40 minutes

Les producteurs peuvent donc éliminer la plupart des organismes nuisibles (à l'exception des virus) à une température de 60 °C pendant 30 minutes. Une température de plus de 82 °C commence à détruire les organismes bénéfiques du sol. S'il est chauffé à une température trop élevée pendant trop longtemps, le sol devient stérile et plus sensible qu'avant à l'infection par les pathogènes, parce que *tous* les organismes sont détruits. Les autres mauvais effets d'un traitement excessif comprennent :

- un dégagement excessif d'ammoniac
- la toxicité du manganèse
- une forte concentration de sels
- la destruction des matières organiques

Pasteurisation à la vapeur

La vapeur est la forme de chaleur la plus souvent utilisée pour la pasteurisation. Pour pasteuriser le sol destiné à la culture de semis de légumes, les producteurs trouvent efficace d'injecter de la vapeur dans le fond d'une remorque ou d'une caisse de camion rempli de sol. Quand le sol pasteurisé a refroidi, on peut le transférer là où il doit être utilisé. Pour stériliser le sol des serres, les producteurs utilisent deux techniques principales. Si le drainage des planches est assuré à l'aide de tuyaux de drainage agricole (le haut des tuyaux à une profondeur de 30 à 40 cm et un espace de 40 à 60 cm, centre à centre, entre les rangées de tuyaux), l'injection de vapeur dans les tuyaux permet de pasteuriser le sol adjacent aux tuyaux et au-dessus des tuyaux. On peut améliorer l'efficacité de cette méthode en recouvrant le sol d'une feuille de plastique pour que la vapeur ne puisse s'échapper quand elle parvient à la surface du sol. Dans les serres sans réseau de drainage, on peut pasteuriser un sol grossier bien drainé en injectant de la vapeur directement sous une bâche de plastique spéciale. Pour une injection plus uniforme de la vapeur, on peut utiliser un boyau en toile ou un tuyau de drainage souple perforé. Enfouir les bords de la bâche à une profondeur de 10 à 12 cm pour que la bâche puisse retenir la vapeur jusqu'à une pression de 41 à 48 kPa (de 6 à 7 livres/pied carré). Quelle que soit la méthode de pasteurisation utilisée, il faut

vérifier avec précision la température sous la bâche en plusieurs endroits, à l'aide de thermomètres spéciaux dont l'élément sensible est relié au cadran par quelques mètres de câble. Pour bien pasteuriser le sol, il faut obtenir une température du sol de 80 °C à une profondeur de 30 cm pendant une période ininterrompue de 30 minutes.

Pasteurisation à la vapeur aérée

L'emploi de la vapeur aérée est plus généralisé aujourd'hui. Cette méthode consiste à mélanger de la vapeur vive et de l'air dans une chambre et à utiliser ce mélange (à une température de 70 °C) pour pasteuriser le sol. La température moins élevée permet de pasteuriser le sol en évitant les risques d'un traitement excessif. À moins qu'il n'existe de problèmes particuliers, une température de 70 °C permet de détruire de façon satisfaisante la plupart des insectes et des organismes pathogènes.

Pasteurisateurs électriques

Les pasteurisateurs électriques conviennent pour de petits volumes de sol, quand aucune autre méthode n'est disponible. La pasteurisation électrique présente toutefois le risque d'un chauffage excessif du sol, car, pour que la température atteigne 82 °C entre les ailettes, il faut que les ailettes elles-mêmes soient à une température plus élevée.

Fumigants chimiques

Vu le coût élevé de la pasteurisation à la vapeur, la fumigation chimique est devenue une méthode de pasteurisation plus populaire. Chaque fumigant agit spécifiquement à une dose donnée contre les insectes, les maladies, les nématodes et les mauvaises herbes. Il importe de respecter attentivement le mode d'emploi fourni par le fabricant. Il faut aussi prendre soin de protéger les planches ou les serres adjacentes contre les vapeurs toxiques de fumigant. **Les fumigants recommandés, leur emploi et les doses font l'objet de règlements, qui peuvent varier d'une province à une autre. Il faut obtenir un permis pour utiliser certains fumigants (le bromure de méthyle, par exemple). Respectez à la lettre les règlements visant l'emploi des fumigants et prenez les précautions nécessaires pendant l'utilisation.**

Submersion et lessivage

Pour obtenir les meilleurs résultats avec la stérilisation à la vapeur, il faut d'abord travailler le sol et porter son taux d'humidité à la capacité de champ. La quantité d'eau nécessaire à cette fin varie en fonction du taux

d'humidité initial du sol, ainsi que du type de sol, mais est généralement entre 20 et 50 L/m^2.

La stérilisation à la vapeur, notamment quand elle est excessive, libère souvent des quantités toxiques d'ammoniac et de manganèse. Les concentrations d'autres éléments, par exemple de potassium, de fer et de zinc, peuvent augmenter elles aussi. Quand l'analyse du sol révèle un excédent indésirable de sels solubles, le lessivage à l'eau permet généralement d'éliminer cet excédent et de refroidir le sol après la stérilisation à la vapeur. Utiliser les quantités recommandées dans le tableau 11.

Tableau 11 Exigences de lessivage après la stérilisation à la vapeur

Conductivité électrique (µS/cm)		Quantité d'eau (L/m^2)	
Méthode des extraits boueux	Méthode des extraits aqueux (1:2)	Sols sableux	Autres sols
Jusqu'à 1,5	Jusqu'à 1,5	15	25
1,5–3,0	0,5–1,0	30	50
3,0–5,0	1,0–1,5	70	100
Plus de 5	Plus de 1,5	100	150

Nota :

- Les chiffres indiqués pour la quantité d'eau exigée (L/m^2) correspondent également au nombre de millimètres de pluie.
- Les quantités suggérées s'appliquent au lessivage et doivent être ajoutées aux quantités exigées pour atteindre la capacité au champ (normalement de 20 à 50 L/m^2)
- Les quantités suggérées s'appliquent à l'emploi intermittent d'un réseau d'irrigation en hauteur sur une période de 2 à 5 jours.
- Il est difficile de lessiver les sels dans les sols lourds, notamment si aucun effort n'a été fait pour en améliorer la structure.
- Si la conductivité avant le lessivage est supérieure à la gamme recommandée, il faut la vérifier de nouveau après le lessivage et avant la plantation.
- La submersion réduit sensiblement les nitrates et la conductivité et peut réduire légèrement les réserves de potassium, mais a peu d'effet sur la concentration des autres éléments nutritifs.

Matières organiques

Une forte teneur en matières organiques contribue à stabiliser la structure du sol et améliore la capacité de rétention d'eau. Autrefois, les producteurs stérilisaient le sol des serres à la vapeur, puis lui apportaient du fumier bien décomposé. En plus de réduire la libération d'ammoniac et d'autres substances toxiques, ce procédé réinoculait des organismes bénéfiques dans le sol, mais présentait toujours le risque d'introduire dans le sol des organismes pathogènes et des graines de mauvaises herbes.

De plus, l'emploi de fumier ou de terres noires comme source de matières organiques risque de contaminer le sol de la serre en y introduisant des résidus d'herbicides. Les apports de fumier recommandés varient de 45 à 225 t/ha, en fonction du type de fumier et des conditions du sol. À titre d'exemple, le compost de champignonnière est riche en éléments nutritifs et peut causer des problèmes de conductivité du sol, tandis que la paille non décomposée peut provoquer une carence en azote.

Par le passé, une fumure opportune a permis aux producteurs expérimentés d'obtenir des cultures d'une vigueur et d'une productivité exceptionnelles, grâce à une planification élaborée et à une part de chance. Toutefois, il n'est pas toujours facile de prédire la réussite de la récolte, parce qu'elle dépend du moment où l'azote est libéré et de la quantité d'azote libérée, ainsi que de la mesure dans laquelle on empêche le fumier épandu de libérer trop de sels et d'ammoniac. Un apport abondant de fumier, combiné à un paillis de paille, libère également de grandes quantités de gaz carbonique. Cela doit avoir contribué à la productivité impressionnante des cultures passées, malgré la régulation sommaire du milieu ambiant des serres d'autrefois.

Depuis quelques années, on voit dans l'apport de matières organiques plus un moyen d'améliorer la structure du sol qu'un moyen d'augmenter la teneur en éléments nutritifs. En fait, la teneur en éléments nutritifs de la plupart des fumiers et autres sources non standardisées de matières organiques est extrêmement variable. On considère que leur utilisation présente plus d'inconvénients que d'avantages, vu les effets imprévisibles sur les cultures. Aujourd'hui, les avantages dérivés de l'évolution circonstancielle du gaz carbonique provenant des matières organiques en décomposition ne sont pas aussi importants, vu le recours fréquent à l'enrichissement au gaz carbonique dans les serres modernes. Aujourd'hui, la tourbe à texture grossière est la source la plus satisfaisante de matières organiques. Quand on s'en sert pour améliorer la structure du sol, par exemple dans de nouvelles planches, on l'utilise en grandes quantités : jusqu'à 500 m^3/ha. Quand on obtient la structure de sol désirée, on peut réduire l'apport de tourbe, mais une fumure annuelle reste nécessaire, parce que les matières organiques du sol se décomposent rapidement en serre. Un apport annuel de 100 m^3 de tourbe en vrac à l'hectare est donc recommandé. La tourbe est acide (pH de 4 environ) et offre donc l'avantage supplémentaire de réduire le pH des sols calcaires. Si le sol n'est pas calcaire, ajouter 5 kg de pierre à chaux moulue par mètre cube de tourbe pour neutraliser l'acidité de la tourbe. Épandre à la volée la tourbe et la chaux avant le principal travail du sol et les incorporer dans les 30 premiers centimètres du sol.

Réglage du pH

En règle générale, les légumes de serre poussent bien dans des sols d'acidité variée (pH de 5,5 à 7,5), mais un pH de 6,0 à 6,5 pour les sols

minéraux et de 5,0 à 5,5 pour les sols organiques est généralement jugé optimal. Si le pH est trop faible, ajouter de la pierre à chaux calcique moulue ou des quantités égales de pierre à chaux dolomitique si le sol est pauvre en magnésium, pour l'amener au niveau voulu. Les quantités figurant au tableau 12 ne sont données qu'à titre d'indication. Il est recommandé d'analyser le sol en laboratoire pour établir les besoins précis de chaulage.

Dans la plupart des sols minéraux de serre, le pH tend à dépasser la gamme optimale (6,0 à 6,5). Un remède simple, bien que temporaire, consiste à ajouter de la tourbe sans en neutraliser l'acidité à l'aide de pierre à chaux. La tourbe contribue également à maintenir une bonne structure du sol, mais il faut en ajouter tous les ans pour compenser les pertes causées par la décomposition. Au besoin, on peut ajouter du calcium sous forme de sulfate de calcium (gypse), qui n'a aucun effet sur le pH du sol, ou sous forme soluble (nitrate de calcium), à chaque irrigation. Un apport de soufre élémentaire (fleur de soufre) est un remède plus durable à une trop forte alcalinité. Il n'est pas possible de recommander la quantité de soufre à apporter, car cela dépend du pouvoir tampon (capacité d'échange cationique) et du pH initial, qui varient d'un sol à un autre. En général, on ajoute entre 50 et 500 kg de fleur de soufre à l'hectare. En théorie, 320 kg de soufre élémentaire peuvent neutraliser 1 000 kg de pierre à chaux, si l'on suppose que tout le soufre se transforme instantanément en acide sulfurique. Or, cette transformation, effectuée par des micro-organismes du sol (*Thiobacillus*) prend du temps. Elle est plus rapide dans les sols humides, chauds et bien aérés. Comme la réaction peut être lente au début dans les sols froids, épandre en nappe du soufre broyé ordinaire et bien le mélanger aux 15 à 30 premiers centimètres du sol plusieurs semaines avant la plantation.

Pour acidifier les sols, on peut également utiliser jusqu'à concurrence de 1 500 kg de sulfate de fer à l'hectare. Quand il est hydrolysé, ce sel libère de l'acide sulfurique, qui abaisse considérablement le pH et libère une partie du fer qui se trouve déjà dans le sol. Ce procédé ajoute

Tableau 12 Chaulage nécessaire pour ramener le pH du sol à 6,5

	Chaux (t/ha)		
pH du sol	Loam sableux	Loam, loam limoneux	Loam argileux, organique
6,0	3,0	4,5	6,0
5,5	6,0	9,0	12,0
5,0	9,0	12,0	18,0
4,5	12,0	15,0	24,0
4,0	15,0	18,0	30,0

Nota : Les taux de chaulage suggérés s'appliquent aux quinze premiers centimètres du sol. S'il faut réduire l'acidité du sol sur une plus grande profondeur, il faut augmenter les taux en conséquence.

également du fer soluble (c'est-à-dire assimilable) au sol. Toutefois, poids pour poids, le sulfate de fer est quatre à cinq fois moins efficace que le soufre et tend à coûter plus cher. On peut ajouter de l'acide sulfurique directement au sol, mais c'est une tâche déplaisante et dangereuse, qui exige un équipement spécial résistant à l'acide. Dans certaines régions, il peut être épandu par des fournisseurs qui ont l'équipement nécessaire à sa manutention. L'acide sulfurique offre l'avantage de réagir rapidement avec le sol.

Dans la plupart des cas, il suffit d'acidifier le sol près des racines, et cela exige de bien plus petites quantités de substances chimiques. Cette méthode est particulièrement recommandée dans le cas d'un système à irrigation goutte-à-goutte, où les racines occupent une petite partie bien définie du sol. L'injection d'acide phosphorique ou nitrique, dilué autant que l'exigent la commodité et la sécurité, est un bon moyen d'abaisser le pH du sol près des plants. De plus, ces acides empêchent les sels de se précipiter et d'obstruer les canalisations d'irrigation, et apportent aux plants des éléments nutritifs utiles. Pour savoir quelle quantité d'acide injecter, ajouter une quantité donnée d'acide à un volume donné d'eau jusqu'à ce qu'on obtienne le pH voulu. On peut également commencer par injecter de petites quantités d'acide dans le réseau d'irrigation, vérifier le pH à l'aide d'un pH-mètre en ligne et augmenter la quantité d'acide injecté jusqu'à ce qu'on obtienne le pH voulu. Quand les conditions le permettent, choisir pour la fumure d'entretien des engrais qui peuvent abaisser ou relever le pH du sol, en fonction du type de sol. À titre d'exemple, le sulfate d'ammonium et le phosphate d'ammonium tendent à abaisser le pH du sol, tandis que le nitrate de calcium tend à l'augmenter.

Fumure de pré-plantation

Épandre les engrais de pré-plantation après la stérilisation et le lessivage du sol et les incorporer au sol de la serre à l'aide d'un cultivateur rotatif. Ajouter ces engrais à la pierre à chaux dont on peut avoir besoin pour corriger le pH du sol (tableau 12). Ajouter le plus possible du calcium et du phosphore nécessaires en fumure de fond, car ces éléments nutritifs s'emmagasinent bien dans le sol et leur absence dans la solution nutritive prévient la plupart des problèmes d'obstruction du réseau d'irrigation. Apporter le calcium sous forme de pierre à chaux et le phosphore sous forme de superphosphate, moulus finement dans les deux cas. Vu leur source et leur capacité de se lier aux particules du sol, ces éléments nutritifs sont libérés lentement dans la solution du sol et ne causent donc pas d'augmentation brutale de la teneur totale en sels. Ils ne perturbent pas non plus l'équilibre nutritif du sol auquel ils sont ajoutés en fumure de fond.

Apporter aussi une bonne portion de potassium et de magnésium comme fumure de fond. Le rapport du potassium au magnésium dans le sol devrait être de 2 à 1. Éviter d'apporter de l'azote. Décider de la

fumure de fond après avoir fait analyser le sol et avoir consulté le conseiller horticole. Les taux de fumure de fond recommandés dans le tableau 13 ne sont donnés qu'à titre d'indication.

Tableau 13 Fumure de fond recommandée

Engrais	Quantité (kg/ha)
Superphosphate (0-20-0, moulu fin)	250
Sulfate de potassium	500
Sulfate de magnésium	250
Ajouter, au besoin, les éléments suivants, en combinaison	
Pierre à chaux calcique	800
Tourbe	800 balles/ha

Travail du sol

Le sol exige certaines pratiques culturales avant la stérilisation pour qu'on puisse y incorporer les matières organiques, la chaux et les engrais et obtenir l'état d'ameublissement voulu. Le cultivateur rotatif est généralement préféré, parce qu'il prépare le sol de façon plus uniforme en endommageant moins sa structure. Toutefois, si l'on travaille toujours le sol à la même profondeur à l'aide d'un cultivateur rotatif, on risque d'obtenir une couche de sol compactée. Il faut donc varier de temps en temps la profondeur du travail du sol.

Arrosage

L'irrigation se fait généralement par submersion, mais on utilise parfois un équipement automatique. L'objectif de l'arrosage est de fournir aux racines un apport d'eau suffisant sans tremper le sol au point où l'air ne peut plus parvenir aux racines. Il ne faut pas attendre que les plants commencent à flétrir. Il est recommandé de creuser le sol et de vérifier la quantité d'eau qui se trouve à la hauteur des racines avant de commencer l'irrigation.

Il est déconseillé d'arroser le même jour de chaque semaine. Les besoins des plants changent tous les jours et varient d'une saison à une autre. Les jeunes concombres plantés en serre en janvier ou février n'ont besoin d'être arrosés qu'une fois tous les 5 à 10 jours et seulement assez pour humidifier de 15 à 20 cm du sol. En juin, les mêmes types de plants peuvent avoir besoin de cinq à dix fois plus d'eau.

Il faut se laisser guider par la texture et la structure du sol pour décider combien d'eau utiliser à chaque irrigation. En examinant le sol avant l'arrosage et plusieurs heures après, on peut évaluer l'efficacité de l'irrigation.

Plan de fumure

En plus de la fumure pré-plantation, il faut aussi des apports d'engrais réguliers tout au long de la saison de production. Les apports d'engrais aux plants en croissance doivent être sous forme d'engrais secs épandus à la volée sur la majeure partie ou la totalité du sol cultivé de la serre. Le tableau 14 indique les doses recommandées.

Tableau 14 Apports d'engrais recommandés pour les cultures de printemps ou d'automne, dans le sol

	Solution-mère A[a] (kg/ha)			Solution-mère B[a] (kg/ha)		
Semaine après la plantation	Nitrate de potassium	Nitrate de calcium	Nitrate d'ammonium	10-52-10	20-5-30	Sulfate de magnésium
1				150		
2	50	50			100	100
3	50				100	
4	50	100			100	100
5	50				100	
6	100	100			100	100
7	100				100	
8	100	100	50		100	
9	100				100	100
10	100	100	50		100	
11	100				100	
12	100	100	50		100	100
13	100				100	
14	100	100	50		100	
15	100				100	100
16	100	100	50		100	
17	100				100	
18	100	100	50		100	100
19	100				100	
20	100	100	50		100	
21	100				100	
22					150	
23					150	

[a] *Attention* : Si l'on mélange d'abord les engrais en solutions-mères épaisses avant de les apporter aux plants, il faut les grouper de la façon indiquée. Il ne faut pas mélanger dans la même solution concentrée un engrais calcique et un engrais sulfaté ou phosphaté, parce que ce mélange forme une suspension épaisse qui peut obstruer l'équipement d'arrosage.

Nota : Choisir des mélanges d'engrais solubles qui contiennent le moins possible de chlorures, de sulfates et de carbonates.

Précisons que les doses d'engrais recommandées au tableau 14 supposent que les engrais seront épandus sur la majeure partie du sol de la serre et qu'ils *ne seront pas* apportés à une zone limitée, près des plants, peut-être au moyen d'un système d'irrigation goutte-à-goutte. Il est possible de calculer, par exemple, que, si la dose d'engrais recommandée pour la quatrième semaine est ajoutée d'un seul coup à l'aide d'un système d'irrigation goutte-à-goutte, qui fournit 4 L d'eau par plant, la concentration des principaux éléments nutritifs dans la solution fertilisante serait la suivante : 685 ppm d'azote, 100 ppm de phosphore, 980 ppm de potassium, 190 ppm de calcium et 200 ppm de magnésium. Ces concentrations sont bien trop élevées. Si les mêmes engrais étaient utilisés continuellement dans un système d'irrigation goutte-à-goutte, à raison de 2 L d'eau par plant par jour, les concentrations d'éléments nutritifs dans la solution fertilisante seraient les suivantes : 195 ppm d'azote, 28 ppm de phosphate, 280 ppm de potassium, 54 ppm de calcium et 57 ppm de magnésium. Ce sont là des concentrations plus raisonnables.

Les doses d'engrais recommandées dans le tableau 14 *ne sont pas*, répétons-le, les doses à utiliser dans un système d'irrigation goutte-à-goutte. (Les doses recommandées pour un tel système sont indiquées dans la prochaine section.) Le sol a un grand pouvoir tampon, de sorte que, si les engrais sont épandus comme il le faut sur tout le sol de la serre, les doses indiquées (tableau 14) amèneront la fertilité du sol à un niveau qui permettra aux cultures d'être vigoureuses et productives.

Paillage

Il faut pailler le sol quand les plants de concombre atteignent 0,5 m de hauteur environ et seulement lorsque la température du sol est suffisamment élevée. La paille est le matériau le plus souvent utilisé, mais on peut aussi se servir de rafles broyées. Le paillage réduit l'évaporation et le compactage du sol. De plus, quand il y a un paillage, le sol éclabousse moins les plants lors de l'arrosage, ce qui réduit la quantité de poussière dans la serre. Enfin, la décomposition du paillage libère de grandes quantités de gaz carbonique, qui stimulent la croissance des plants. Par ailleurs, l'enfouissement du paillage dans le sol à la fin de la campagne apporte des matières organiques utiles au sol. Toutefois, l'emploi de sous-produits organiques comme paillis pose les mêmes problèmes que ceux que cause, comme nous l'avons indiqué plus haut, l'apport de toute matière organique à un sol qui est soumis à un travail intense.

Le paillage classique est moins souvent utilisé depuis quelques années. Les serristes tendent à lui préférer une pellicule de polyéthylène blanc, dont ils recouvrent le sol quand le système d'irrigation le permet. Ce type de paillage offre plusieurs avantages et donne de meilleurs résultats quand on l'utilise avec un système d'irrigation goutte-à-goutte.

Culture dans le sol avec irrigation goutte-à-goutte

La culture dans le sol avec irrigation goutte-à-goutte (planche IV*b*) est semblable à la culture classique dans le sol, mais lui est supérieure parce qu'elle permet de maîtriser la croissance par la régulation des apports d'eau et d'éléments nutritifs. Elle permet aussi de réduire l'humidité relative dans la serre, parce que tout le sol n'est pas irrigué et que le système est compatible avec l'emploi d'une pellicule de polyéthylène blanc comme paillage réfléchissant. Ce système permet donc une utilisation plus judicieuse des ressources, y compris de l'énergie.

Dans la plupart des cas, on utilise des goutteurs en ligne avec un débit de 2 L/h et un goutteur par plant. Toutefois, vu que les racines du concombre sont peu profondes, mais étendues, on peut envisager un débit de 4 L/h, ce qui produit généralement un meilleur mouvement latéral de l'eau d'irrigation. Mieux encore, on peut installer deux goutteurs par plant, fournissant chacun 2 L/h.

Les nébulisateurs utilisés au niveau du sol, le long de la rangée de plants, ont donné de bons résultats du point de vue de la croissance des racines, de la vigueur des plants et de la productivité. Mais, à moins d'utiliser judicieusement ces systèmes, il est facile de trop arroser, auquel cas l'humidité excessive et les tiges mouillées favorisent l'apparition de maladies.

Une autre solution consiste à poser à plat des tubes de polyéthylène (d'un diamètre intérieur de 5 cm environ), perforés de petits trous à 10 cm d'intervalle. Ce système permet généralement d'arroser une plus grande superficie que le système goutte-à-goutte, sans élever l'humidité relative autant que le ferait un système de nébulisation. Bien qu'il soit relativement bon marché, le système d'irrigation à tubes a une courte durée de vie et doit être remplacé fréquemment. Ce n'est pas un système recommandé pour les grandes serres, car l'apport d'eau varie beaucoup d'un point du réseau à un autre, vu qu'il n'y a pas d'égalisation de la pression.

Irriguer jusqu'à concurrence de quatre fois par jour et utiliser le système d'irrigation pour apporter l'engrais aux plants. L'irrigation fertilisante est aujourd'hui un moyen populaire de fournir aux légumes de serre les engrais dont ils ont besoin. Les engrais sont dissous dans une grande cuve de stockage, d'où la solution est pompée jusqu'aux plants, ou bien sont mélangés en solutions-mères concentrées, qui sont alors incorporées dans l'eau d'irrigation à l'aide d'injecteurs d'engrais (tableaux 15 et 15a).

Il existe plusieurs marques et modèles d'injecteurs d'engrais, dont le coût varie et qui offrent des degrés divers de régulation de la fertilisation. La station de recherches d'Agriculture Canada à Harrow (Ontario) a récemment mis au point un système élaboré d'injection d'engrais qui peut

répondre automatiquement aux besoins nutritionnels de plusieurs cultures à partir d'un même ensemble de solutions-mères (planche II).

Le système de Harrow utilise un ordinateur compatible IBM pour commander une série de pompes de dosage à des fréquences variables pour l'apport pré-programmé de la concentration voulue d'éléments nutritifs individuels. De plus, il ajuste automatiquement l'apport d'eau et d'éléments nutritifs aux plants en fonction de la culture et des conditions ambiantes.

L'adoption de l'irrigation goutte-à-goutte et de l'irrigation fertilisante a obligé à considérer les besoins d'engrais d'une culture du point de vue de la concentration d'engrais (et donc de la concentration d'éléments nutritifs) dans l'eau d'irrigation, plutôt que du point de vue de la superficie en culture. En outre, la teneur recommandée en éléments nutritifs des solutions fertilisantes utilisées dans les systèmes d'irrigation goutte-à-goutte est basée en grande partie sur les réactions physiologiques et la productivité commerciale des cultures. Par le passé, la plupart des doses d'engrais recommandées pour les cultures traditionnelles dans le sol étaient basées sur les évaluations de prélèvements d'éléments nutritifs effectués sur les cultures. Normalement, on n'épand pas d'engrais de base quand on utilise l'irrigation goutte-à-goutte. Les deux exceptions sont la tourbe et la chaux, dont on peut avoir besoin pour améliorer la structure du sol et corriger le pH du sol.

Tableau 15 Programme d'irrigation fertilisante goutte-à-goutte de concombres cultivés dans le sol

	Engrais dans la solution-mère A[a] (kg/1000 L)			Engrais dans la solution-mère B[a] (kg/1000 L)			Irrigation	
Semaine après la plantation	Nitrate de calcium	Nitrate de potassium	Nitrate d'ammonium	Phosphate monopotassique	Sulfate de magnésium	Nitrate de magnésium	Volume (L/plant jour)	CE (µS/cm)
				Culture de printemps				
1	50			100	25		0,4	1300
2	50	35		15	25		0,6	1400
3	35	50	10	15	25		0,8	1500
4	35	50	15	15	25		1,0	1650
5	35	55	15	15	25		1,2	1700
6	35	60	15	15	25		1,6	1750
7	35	65	15	15	25		2,0	1800
8	35	70	15	15	25		2,2	1850
9	35	70	15	15	25		2,4	1850
10	35	70	15	15	25		2,6	1850
11	35	70	15	15	25		2,8	1850
12–17	35	60	15	15		35	4,0	1650
18–22	35	55	15	15		35	5,0	1600
23–fin	35	50	15	15		35	4,0	1550
				Culture d'automne				
1	50			100	25		0,4	1300
2	50	35		15	25		0,8	1400
3	35	50	10	15	25		1,0	1500
4	35	50	15	15	25		1,2	1650
5–12	35	55	15	15		35	3,0	1650
13–fin	35	55	15	15		35	2,0	1600

[a] *Attention :* Si l'on mélange d'abord les engrais en solutions-mères épaisses avant leur apport aux plants, il faut les grouper de la façon indiquée. Il ne faut pas mélanger dans une même solution concentrée un engrais calcique et un engrais sulfaté ou phosphaté, car un tel mélange produit une suspension épaisse qui peut obstruer l'équipement d'arrosage.

Nota :

- Il faut aussi ajouter des oligo-éléments à toutes les solutions fertilisantes ci-dessus. Un mélange type d'oligo-éléments (le mélange d'oligo-éléments chélatés de Plant Products Ltd., par exemple) contient 7,0 % de fer, 2,0 % de magnésium, 0,4 % de zinc, 0,1 % de cuivre, 1,3 % de bore et 0,06 % de molybdène. Quand on l'ajoute à la solution-mère à raison de 1 kg pour 1 000 L, il apporte à la solution finale 0,7 ppm de fer, 0,2 ppm de magnésium, 0,04 ppm de zinc, 0,01 ppm de cuivre, 0,13 ppm de bore et 0,006 ppm de molybdène, pour un taux de dilution de 1:100.
- Dissoudre la quantité voulue de chaque engrais, y compris des oligo-éléments, dans 1 000 L d'eau et ajouter à l'eau d'irrigation en doses égales, de préférence à l'aide d'un injecteur d'engrais à plusieurs aiguilles. Commencer l'injection à un taux très faible et augmenter le taux d'injection progressivement et uniformément sur toutes les aiguilles jusqu'à ce qu'on obtienne la conductivité électrique voulue. Ajuster le pH de la solution nutritive à 5,5 en injectant une solution diluée d'acide phosphorique, nitrique ou sulfurique. On peut aussi, si on le préfère, dissoudre les engrais, y compris les oligo-éléments, dans 100 000 L d'eau, corriger le pH et apporter la solution directement aux plants.
- La concentration recommandée des solutions-mères est dans la gamme de fonctionnement d'un injecteur d'engrais (taux de dilution de 1:100). Si l'on utilise un taux de dilution de 1:200, il faut doubler la quantité de chaque engrais. Faire des ajustements semblables si l'on utilise d'autres taux de dilution. Si la limite de solubilité d'un engrais (nitrate de potassium, par exemple) est dépassée, préparer plus d'une solution-mère du même engrais et diviser l'engrais en parts égales entre les solutions-mères.

Tableau 15a Concentration d'éléments nutritifs dans la solution nutritive finale, quand on mélange une part de chacune des solutions-mères A et B, préparées conformément au tableau 10, à 98 parts d'eau (autrement dit à un taux de dilution de 1:100)

Semaine	Concentration des éléments nutritifs (ppm)												CE[a] prévue (µS/cm)
	$N\text{-}NO_3$	$N\text{-}NH_4$	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Mo	
						Culture de printemps							
1	72	3	235	300	95	25	0,7	0,2	0,04	0,01	0,13	0,006	1300
2	117	5	35	175	95	25	0,7	0,2	0,04	0,01	0,13	0,006	1400
3	140	15	35	233	67	25	0,7	0,2	0,04	0,01	0,13	0,006	1500
4	145	25	35	233	67	25	0,7	0,2	0,04	0,01	0,13	0,006	1650
5	151	25	35	251	67	25	0,7	0,2	0,04	0,01	0,13	0,006	1700
6	158	25	35	270	67	25	0,7	0,2	0,04	0,01	0,13	0,006	1750
7	164	25	35	289	67	25	0,7	0,2	0,04	0,01	0,13	0,006	1800
8–11	170	25	35	308	67	25	0,7	0,2	0,04	0,01	0,13	0,006	1850
12–17	196	25	35	270	67	32	0,7	0,2	0,04	0,01	0,13	0,006	1650
18–22	189	25	35	251	67	32	0,7	0,2	0,04	0,01	0,13	0,006	1600
23–fin	183	25	35	233	67	32	0,7	0,2	0,04	0,01	0,13	0,006	1550
						Culture d'automne							
1	72	3	235	300	95	25	0,7	0,2	0,04	0,01	0,13	0,006	1300
2	122	12	35	175	67	25	0,7	0,2	0,04	0,01	0,13	0,006	1400
3	140	15	35	233	67	25	0,7	0,2	0,04	0,01	0,13	0,006	1500
4	145	25	35	233	67	25	0,7	0,2	0,04	0,01	0,13	0,006	1650
5–12	196	25	35	270	67	32	0,7	0,2	0,04	0,01	0,13	0,006	1650
13–fin	189	25	35	251	67	32	0,7	0,2	0,04	0,01	0,13	0,006	1600

[a] La conductivité électrique de l'eau, que l'on suppose être de 300 mS/cm, est incluse.

Culture dans la tourbe et dans d'autres substrats organiques

La tourbe est un substrat léger, abondant au Canada et facilement disponible. Elle a une bonne capacité de rétention de l'eau, améliore le drainage et l'aération et est biologiquement et chimiquement stable. On l'utilise, seule ou avec d'autres matériaux comme la vermiculite, la perlite, la Turface, des billes de polystyrène, etc., dans divers mélanges aux caractéristiques physiques variées. En plus d'avoir une grande capacité de rétention de l'eau, la tourbe a une forte capacité d'échange cationique et conserve une bonne structure pendant la culture.

La vermiculite horticole libère pendant la culture certaines quantités de potassium et de magnésium, qui peuvent présenter plus d'inconvénients que d'avantages, parce qu'il devient plus difficile de maîtriser l'assimilabilité de ces éléments nutritifs. Par contre, la vermiculite a une forte capacité d'échange cationique, ce qui augmente

le pouvoir tampon du mélange et réduit donc le risque d'une fertilisation excessive.

Par contre, la perlite, la Turface et les billes de polystyrène sont complètement inertes et ne modifient en rien l'assimilabilité des éléments nutritifs dans le mélange, bien qu'ils améliorent le degré d'aération. De nos jours, les producteurs préfèrent ces matériaux parce qu'ils ne se décomposent pas aussi rapidement que la vermiculite et permettent donc une fertilisation plus précise des plants. Des recherches récentes montrent que la porosité d'un mélange de tourbe et de perlite baisse progressivement, tandis que celle d'un mélange de tourbe et de polystyrène reste stable. Bien que le polystyrène augmente la teneur en air du substrat, une grande partie de cet air, qui se trouve dans les billes de polystyrène, n'est pas assimilable par les plants. Vu les températures élevées utilisées dans leur fabrication, la perlite, la vermiculite, la Turface et les billes de polystyrène sont stériles à la livraison.

Le sable se comporte lui aussi comme un matériau inerte et a beaucoup été utilisé par le passé. Comme tout autre sol, il n'est recommandé de l'utiliser que s'il est stérilisé.

La sciure de bois est souvent utilisée comme substrat inorganique pour la culture du concombre, surtout au Canada. Comme la culture dans la sciure a déjà été exposée en détail dans d'autres publications, nous n'en donnerons ici qu'une description générale (à la rubrique « sciure de bois »).

Rigoles

Placer le substrat dans un contenant après l'avoir mélangé. Aux débuts de la culture dans des mélanges sans sol, on utilisait le plus souvent des rigoles de bois (de 15 à 20 cm de profondeur, avec un revêtement intérieur de polyéthylène). Un tuyau de drainage posé dans l'axe de la rigole assurait le drainage de l'eau et servait de conduit à la vapeur de stérilisation (fig. 14). Une couche de gravier contribuait au drainage général et protégeait le polyéthylène pendant le travail du sol. Comme les mélanges sans sol sont, de nature, pauvres en éléments nutritifs, il faut leur apporter des engrais pour optimiser la croissance des plants.

Deux méthodes principales ont été utilisées pour l'apport d'engrais aux plants cultivés dans la tourbe. La plus simple consiste à ajouter au mélange de tourbe, quand on le prépare, tous les éléments nutritifs dont les plants ont besoin (tableau 16).

L'efficacité de cette technique repose sur l'emploi d'engrais à action lente qui fourniront un apport continu d'azote, de phosphore et de potassium pendant toute la campagne agricole. On subvient aux besoins de calcium des plants surtout en ajoutant de la pierre à chaux calcitique à la tourbe en vue d'en corriger le pH. On ajoute également des oligo-éléments sous forme frittée, pour qu'ils soient libérés lentement pendant la campagne agricole. Un apport régulier d'engrais n'est donc pas nécessaire pendant la campagne agricole, à moins qu'une carence en

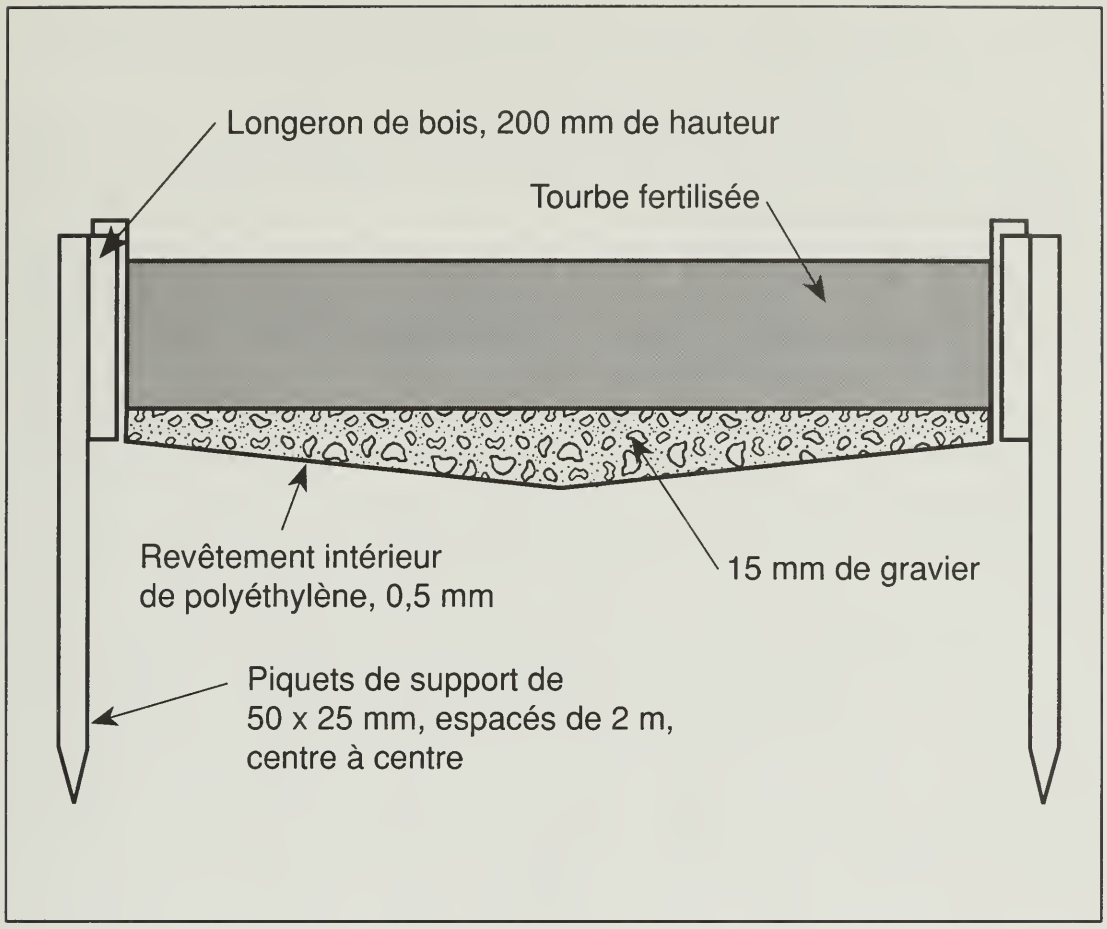

Fig. 14 Culture des concombres en rigoles.

Tableau 16 Ingrédients d'un mélange complet sans sol à base de tourbe et de vermiculite (pour la culture en rigoles)

Substrat	Quantité
Tourbe horticole	0,5 m^3 (2 balles de 0,17 m^3)[a]
Vermiculite horticole	0,5 m^3 (4,5 sacs de 0,11 m^3)
Pierre à chaux dolomitique moulue	7,5 kg
Gypse (sulfate de calcium)	3,0 kg
Nitrate de calcium	0,9 kg
Superphosphate 20 %	1,5 kg
Sel d'Epsom (sulfate de magnésium)	0,3 kg
Osmocote® 18-6-12 (9 mois)	5–6 kg
Oligo-éléments frittés (FTE 503)	225 g
Fer chélaté (NaFe 138 ou 330)	30 g

[a] On estime que l'expansion des balles comprimées correspond à 50 % du volume initial.

éléments nutritifs ne se manifeste. Les principaux inconvénients de cette méthode sont les suivants :

- la régulation de la nutrition est difficile
- l'accumulation excessive de sels causée par la désagrégation rapide des engrais à action lente sous l'effet de températures élevées à moyennes risque de détruire les plants.

Une autre méthode très employée de fertilisation consiste à ajouter une partie de l'engrais quand on prépare le mélange de tourbe (tableau 17), puis à ajouter régulièrement des engrais solubles au moyen du système d'irrigation (tableau 18).

On peut, dans une certaine mesure, influer sur la vigueur des plants et l'équilibre entre la croissance végétative et la fructification en modifiant la composition de l'engrais. À titre d'exemple, on utilise normalement un engrais riche en potasse (1-0-3,5) pour limiter la croissance pendant une brève période après la plantation, quand l'éclairage est insuffisant. Par contre, on utilise un engrais riche en azote (1-0-1) pour maintenir une vigueur suffisante pendant la majeure partie de l'été, quand l'éclairage et la productivité sont élevés. Une grande différence entre les besoins nutritionnels des plants cultivés dans la tourbe et des plants cultivés dans le sol est la nécessité d'un apport régulier de phosphate, qui est facilement lessivé dans la tourbe et doit être remplacé si l'on veut maintenir des niveaux suffisants. On peut assurer un apport continu de phosphate pendant toute la campagne en alternant un engrais phosphaté (1-0,5-2) et un engrais ordinaire (1-0-2). Le phosphore peut également être fourni continuellement sous la forme d'un engrais phosphaté spécial, mais cela veut dire qu'il faudrait fournir des apports séparés de calcium ou de magnésium. Il ne faut pas oublier que les solutions calciques concentrées qui entrent en contact avec des solutions phosphatées peuvent former du phosphate de calcium insoluble, qui obstrue le réseau d'irrigation. De même, il ne faut pas mélanger de fortes concentrations de sulfate de magnésium à des engrais phosphatés. Les éléments nutritifs secondaires sont généralement fournis dans les substrats à base de tourbe, sous forme de mélanges frittés qui libèrent les éléments nutritifs lentement tout au long de la campagne agricole. Remédier aux carences en oligo-éléments à l'aide d'apports de mélanges chélatés d'oligo-éléments.

Relâcher les chélates continuellement dans la solution nutritive ou sous forme de pulvérisation foliaire pour remédier à toute carence. La dose à utiliser dépend du produit. Il est normalement préférable de se conformer aux recommandations du fabricant. En règle générale, les doses recommandées ici devraient suffire pour les concombres cultivés dans la tourbe tout au long de la campagne. Toutefois, si la teneur en éléments nutritifs de la tourbe devient trop forte ou trop faible, il faut réduire ou augmenter en conséquence la concentration de la solution fertilisante. Pour bien faire, il faudrait utiliser un système d'injection d'engrais multiples (le système HFM, voir planche II) pour fournir au substrat l'apport optimal d'eau et d'éléments nutritifs en fonction des besoins des plants.

Tableau 17 Ingrédients d'un mélange à base de tourbe et de vermiculite (1 m^3) (pour la culture en rigoles et en sacs de tourbe)

Substrat	Quantité
Tourbe horticole	0,5 m^3 (2 balles de 0,17 m^3)[a]
Vermiculite horticole	0,5 m^3 (4,5 sacs de 0,11 m^3)
Chaux (pulvérisée FF)	5,9 kg
Superphosphate 20 %	1,2 kg
Nitrate de potassium	0,9 kg
Sulfate de magnésium	0,3 kg
Chélate de fer 10 %	35 g
Oligo-éléments frittés (FTE 503 ou FTE 302)	110 g

[a] On estime que l'expansion des balles comprimées correspond à 50 % du volume initial.

Tableau 18 Ingrédients d'un mélange à base de tourbe et de vermiculite (1 m^3) (pour la culture en rigoles et en sacs de tourbe)

Type d'engrais	Proportions (N:P:K)	Engrais dans la solution-mère	Quantité (kg/1000 L)	N:P:K:Ca:Mg (ppm)
Riche en potasse	1:0:3.5	nitrate de potassium sulfate de potassium	110 20	145:0:500:0:0
Moyennement riche en potasse avec magnésium	1:0:2	nitrate de potassium nitrate d'ammonium sulfate de magnésium	90 20 30	175:0:350:0:30
Moyennement riche en potasse avec phosphate	1:0.5:2	nitrate de potassium monophosphate d'ammonium nitrate d'ammonium	90 30 7	175:85:350:0:0
Moyennement riche en potasse avec calcium	1:0:2	nitrate de potassium nitrate de calcium	90 40	175:0:350:70:0
Riche en azote avec magnésium	1:0:1	nitrate de potassium nitrate d'ammonium sulfate de magnésium	65 50 30	250:0:250:0:30
Riche en azote avec phosphate	1:0.5:1	nitrate de potassium monophosphate d'ammonium nitrate d'ammonium	65 45 33	250:125:250:0:0
Riche en azote avec calcium	1:0:1	nitrate de potassium nitrate de calcium nitrate d'ammonium	65 45 28	250:0:250:85:0

Nota : Les recommandations ci-dessus supposent qu'on utilise un injecteur d'engrais avec un taux de dilution de 1:100 (une part de solution-mère pour 100 parts d'eau) pour incorporer une solution-mère à la fois dans l'eau d'irrigation. On peut aussi, si on le préfère, dissoudre dans 100 000 L d'eau les doses d'engrais recommandées pour l'apport direct aux plants.

Si l'analyse initiale de la tourbe indique que les concentrations d'éléments nutritifs ne sont pas à l'intérieur d'une gamme acceptable, il se peut qu'on puisse utiliser quand même le substrat pour la culture de légumes, à condition de modifier le programme de fertilisation de façon à ramener les niveaux d'éléments nutritifs à des valeurs acceptables. Quand l'analyse montre qu'on a atteint une gamme optimale dans la tourbe, établir un programme de fertilisation qui maintient les niveaux optimaux d'éléments nutritifs. En général, il est recommandé d'alterner un apport d'engrais potassique moyen au phosphate (c'est-à-dire 175-85-350-0-30) avec un apport d'engrais potassique moyen au magnésium (c'est-à-dire 175-0-350-0-30) et un apport d'engrais potassique moyen au calcium (c'est-à-dire 175-0-350-70-0). Cette combinaison fournira un apport moyen de 175 ppm d'azote, 42 ppm de phosphate et 350 ppm de potassium, ainsi que 35 ppm de calcium et 15 ppm de magnésium.

Sacs de tourbe

Il est maintenant facile de se procurer des sacs de plastique remplis d'un substrat à base de tourbe. Chaque sac, qui, à plat, mesure 35 cm sur 105, contient 42 L de tourbe fertilisée (ou un mélange de tourbe et de vermiculite, de perlite ou de polystyrène). Un sac peut servir à cultiver deux plants de concombre, dans la mesure où un apport régulier d'eau et d'éléments nutritifs est fourni par un système d'irrigation goutte-à-goutte.

Recouvrir le plancher de la serre d'une pellicule de polyéthylène et y poser les sacs de tourbe. Certains producteurs utilisent deux couches de polyéthylène : une première couche de polyéthylène noir qui empêche la croissance des mauvaises herbes et, par dessus, une couche de polyéthylène blanc qui réfléchit la lumière vers les plants. Faire deux ou trois fentes latérales de 4 cm dans les sacs pour le drainage. La profondeur de plantation dans la tourbe a une grande influence sur la croissance ultérieure. Moins la tourbe est épaisse, plus ce facteur est critique. Les racines ne peuvent pousser au-dessous des fentes de drainage, où l'eau s'accumule. Il est recommandé d'avoir au moins 10 cm de substrat : une profondeur de plantation de 2,5 cm, 5 cm de tourbe drainée au-dessous du pot et une réserve d'eau de 2,5 cm au-dessous du niveau de drainage. Les recherches et l'expérience pratique montrent qu'il est préférable d'utiliser des sacs en position verticale, parce que la plus grande profondeur de tourbe disponible permet le développement d'un système racinaire plus vigoureux, réduit le stress hydrique et donne une plus grande productivité que les sacs de tourbe posés à plat (type traversin). Au lieu de sacs en position verticale, on peut utiliser des tubes de polyéthylène noir (ou noir et blanc coextrudé) d'une largeur de 45 cm, coupés à la longueur voulue et bouchés à une extrémité.

La culture en sacs de tourbe diffère de la culture dans le sol à deux égards : l'arrosage et la fertilisation. L'arrosage des cultures dans la tourbe est facile à condition :

- de suivre certaines règles fondamentales
- de vérifier fréquemment le degré d'humidité de la tourbe
- de prendre toute mesure corrective nécessaire.

Arrosage

En fait, l'irrigation peut être plus facile dans le cas de la tourbe que dans celui du sol, parce qu'il est plus difficile d'évaluer le degré d'humidité du sol. En outre, les caractéristiques de drainage du sol et du sous-sol rendent plus difficile de juger des besoins d'arrosage. Vu qu'ils ne contiennent qu'un petit volume de substrat, les sacs de tourbe ont une bien moins grande capacité de rétention de l'eau que la plupart des sols. Une irrigation insuffisante a donc des effets nuisibles plus rapides que s'il s'agissait de cultures dans le sol. Voici ce qui est recommandé pour arroser les cultures en sacs de tourbe :

- Utiliser un sac de tourbe drainé, avec un réservoir d'eau en dessous.
- Installer des points d'irrigation supplémentaires dans les zones qui ont besoin de plus d'eau.
- Prévenir les obstructions du réseau d'irrigation ou les éliminer dès qu'elles se produisent, pour assurer l'efficacité du système.
- Vérifier fréquemment l'humidité de la tourbe et modifier au besoin la conduite de l'irrigation.
- Varier la fréquence de l'arrosage plutôt que la quantité d'eau utilisée chaque fois, afin que la tourbe puisse s'aérer entre les arrosages et que le degré d'humidité reste uniforme d'un sac à un autre.

Un mauvais programme d'irrigation cause l'engorgement du substrat, un assèchement excessif et une trop grande variation de l'humidité d'un sac à l'autre. L'engorgement se repère facilement au ralentissement de la croissance et à l'amincissement de la tête des plants. Quand le problème persiste, la tête des plants prend la couleur jaune qui caractérise la carence en fer. L'engorgement se produit généralement quand la conduite de l'irrigation ne prévoit pas une aération suffisante du sol entre les arrosages. Un arrosage excessif occasionnel peut ne pas avoir d'importance, parce que l'excédent est éliminé par drainage, mais un deuxième arrosage avant le retour de l'humidité de la tourbe à un niveau normal fait obstacle aux fonctions des racines et amorce le cycle de l'engorgement. On peut éviter ce problème en vérifiant régulièrement et fréquemment la teneur en eau. Quand l'engorgement se produit et que les plants en manifestent les symptômes, l'élimination du problème est un lent processus. Cesser d'arroser jusqu'à ce que l'humidité de la tourbe atteigne son niveau minimal normal, aussi longtemps que cela puisse prendre. Le rendement de la récolte baisse invariablement pendant qu'on s'attaque au problème.

Une sécheresse excessive est un problème tout aussi grave, mais tout aussi facile à éviter, à condition que le système d'irrigation fonctionne bien et qu'on consacre le temps nécessaire à la conduite de l'irrigation. Si la tourbe se dessèche souvent au-dessous de son niveau minimal normal et qu'on ne puisse plus en extraire d'eau quand on la presse comme une éponge, la croissance des plants en souffre, notamment si la tourbe a une forte concentration en sels. Si on laisse souvent la tourbe se dessécher beaucoup trop, il y aura un rabougrissement général des plants et une forte baisse du rendement. Il est facile de remédier au problème : il suffit d'augmenter l'apport d'eau en intensifiant la fréquence de l'irrigation. Le rétablissement initial peut prendre plusieurs jours. Il n'existe aucun avantage à fournir de grands volumes d'eau chaque fois qu'on irrigue, car la majeure partie de l'eau sera éliminée par drainage.

La troisième cause possible de problèmes est une trop grande variation de la teneur en eau d'une partie de la serre à une autre. La conduite de l'irrigation ne peut jamais être suffisamment précise pour tenir compte de toutes les variations entre les plants, et de forts déséquilibres peuvent se produire. De plus, les plants particulièrement vigoureux ou les plants affaiblis ou malades peuvent causer des problèmes localisés de déficit en eau ou d'engorgement. De même, l'élimination de plants peut provoquer un engorgement localisé. Quand le problème n'est pas trop généralisé, il suffit de rétablir l'équilibre en apportant de temps en temps un complément d'eau aux zones sèches à l'aide d'un boyau d'arrosage et en enlevant temporairement un ou plusieurs points d'irrigation dans les zones d'engorgement. Il arrive parfois que l'engorgement délibéré permette de prévenir ou de corriger un déséquilibre hydrique de grande envergure, mais cette technique ne doit être utilisée qu'avec des plants en croissance active qui possèdent un système racinaire vigoureux. L'engorgement permet aussi de lessiver les sels excédentaires du substrat. Une bonne façon de procéder consiste à irriguer jusqu'à ce que le degré d'humidité de la partie la plus sèche de la culture redevienne normal après chaque arrosage. On peut ainsi prévenir l'accumulation d'eau, tandis que le drainage élimine les excédents d'eau dans les zones où le substrat a besoin de moins d'eau.

Quand on envisage de cultiver des concombres de serre dans un mélange de tourbe pour la première fois, il importe de savoir que l'arrosage est une partie importante de la gestion et qu'on doit compter sur un bon système d'irrigation. Certains peuvent décider que la culture dans la tourbe comporte de trop grands risques d'erreur pour qu'il vaille la peine de la substituer à la culture dans le sol. En fait, l'un des attraits de la culture dans la tourbe ou dans d'autres substrats sans sol est qu'une mauvaise gestion de l'irrigation se remarque plus rapidement. Quand on cultive dans le sol, la gestion de l'eau ne se remarque qu'après une modification marquée de la croissance des plants. En conséquence, bien que le sol ait une meilleure capacité de rétention de l'eau et un plus grand pouvoir tampon, il est possible de subir de plus grandes pertes sans se rendre compte qu'on a fait des erreurs. Un producteur compétent qui cultive dans de la tourbe peut repérer les erreurs d'irrigation dès que

leurs effets se manifestent dans le mélange de tourbe, et les corriger avant qu'elles n'endommagent les plants. La mise au point récente de régulateurs informatisés de l'irrigation munis de tensiomètres spéciaux a grandement simplifié la programmation de l'irrigation des plants cultivés en sacs de tourbe. Cette technologie permet de faire de grandes économies d'eau et d'éléments nutritifs et de réduire au minimum la contamination de l'environnement par les excédents d'éléments nutritifs.

Alimentation

L'autre grand domaine où la culture des concombres dans la tourbe diffère beaucoup de la culture des concombres dans le sol est celui de la nutrition. Les mélanges de tourbe ont un bien moins grand pouvoir tampon que la plupart des sols pour ce qui est des éléments majeurs et secondaires. Le producteur doit donc surveiller continuellement l'assimilabilité des éléments nutritifs dans le substrat et ajuster en conséquence la composition des apports d'engrais. Cela exige un service d'analyse rapide et fiable ainsi qu'une technique sûre et précise pour assurer l'apport fréquent d'engrais. Les résultats de l'analyse de la tourbe permettent de prendre les mesures correctives qui s'imposent pour fournir aux racines un milieu optimal avant que les plants ne montrent des symptômes de problèmes. Si l'on attend l'apparition de ces symptômes avant de modifier le programme de fertilisation, on risque bien davantage de voir baisser le rendement. L'aptitude du producteur à interpréter les résultats de l'analyse et à prendre toute contre-mesure nécessaire est tout aussi importante que le service d'analyse lui-même. Bien que les concentrations initiales d'éléments nutritifs dans la tourbe varient en fonction du fournisseur, de la source et du type de tourbe utilisé, on peut considérer normales les gammes figurant au tableau 19, mais il ne faut s'en servir qu'à titre d'indication.

Tableau 19 Concentrations convenables d'éléments nutritifs dans le substrat des sacs de tourbe, pour un taux de dilution substrat-eau de 1:1,5

Élément nutritif	Concentration (ppm)
Azote (nitrate)	30–80
Phosphore	20–50
Potassium	140–400
Calcium	140–200
Magnésium	25–35
Acidité (pH)	5,5–6,6
Conductivité électrique (mS/cm)	1000–2500

• L'échantillon de tourbe doit être prélevé au plus profond du sac.

Les résultats de l'analyse de la tourbe varient en fonction des méthodes d'échantillonnage et d'analyse. Les résultats de toute analyse d'échantillons de tourbe ne peuvent donc se comparer aux recommandations données dans le tableau 19 que si les conditions suivantes sont remplies :

- Prendre un échantillon de tourbe tout au fond du substrat dans le sac.
- Le point d'échantillonnage doit être situé près d'un plant en croissance et s'étendre à la zone d'enracinement.
- Il faut prélever plusieurs échantillons en divers points de la serre et les mélanger pour avoir au moins 0,5 L de matériau à analyser.
- Il ne faut pas prélever d'échantillons immédiatement après l'arrosage ni dans des zones qui sont manifestement plus humides ou plus sèches que la moyenne de la serre.
- Amener les échantillons de tourbe prélevés de la façon indiquée ci-dessus à un degré d'humidité uniforme en leur ajoutant de l'eau distillée ou en les laissant sécher suffisamment avant l'analyse. Le degré d'humidité est optimal quand on peut extraire une petite quantité d'eau de la tourbe en la serrant modérément comme une éponge.
- Tous les échantillons à analyser doivent être mélangés à une fois et demie leur volume d'eau distillée pour former une suspension aqueuse de 1:1,5 par volume (tableau 19).

Les recommandations données dans les tableaux 17 et 18 en ce qui concerne la composition du mélange de tourbe et de la solution nutritive s'appliquent également à la culture des concombres en sacs de tourbe.

Recyclage

Les essais et l'expérience des producteurs semblent indiquer qu'on peut recycler la tourbe sans réduire les rendements. Toutefois, les facteurs suivants peuvent modifier les possibilités d'utilisation de la tourbe recyclée :

- la concentration et la distribution des éléments nutritifs dans la tourbe
- la concentration de sels dans la tourbe
- la présence de ravageurs et de maladies dans la tourbe.

Si l'on compte réutiliser les sacs de tourbe, il est recommandé de réduire de moitié la concentration d'engrais 4 semaines environ avant la fin prévue de la première récolte, et de n'utiliser que de l'eau pendant la dernière semaine ou les deux dernières semaines. Cette période de lessivage graduel des éléments nutritifs réduit la concentration de ces éléments dans la tourbe. La réduction de cette concentration variera en fonction de la facilité avec laquelle les éléments nutritifs seront lessivés. À titre d'exemple, dans une tourbe bien lessivée, la concentration de nitrate est très faible, les concentrations de phosphate et de potassium sont faibles et celles du calcium et du magnésium restent élevées.

On peut stériliser en vrac la tourbe après le lessivage pour réduire au minimum le manque d'uniformité de la teneur en éléments nutritifs de la

tourbe recyclée. Après la stérilisation, analyser la tourbe et ajouter au besoin des engrais de base avant de remplir les sacs de nouveau. Les principes de la stérilisation à la vapeur sont les mêmes pour la tourbe que pour le sol. L'objectif est de détruire les organismes nuisibles tout en préservant la plupart les organismes bénéfiques et les éléments nutritifs et en évitant l'accumulation de sels. Il faut donc éviter une stérilisation trop poussée. Il suffit d'élever à 82 °C pendant 20 minutes la température dans l'ensemble de la tourbe. Comme dans le cas du sol, la tourbe ne doit être ni trop humide ni trop sèche quand on la stérilise, sinon la stérilisation coûte plus cher qu'il n'est nécessaire ou n'est pas aussi efficace qu'elle pourrait l'être. Vu la faible quantité de tourbe utilisée dans une serre par rapport à la quantité de sol, la stérilisation de la tourbe exige bien moins d'énergie et de main-d'œuvre.

Le système de sacs de tourbe de Harrow

Au début des années 80, la Station de recherches de Harrow a mis au point un système de sacs de tourbe pour la culture des concombres de serre (planche IV*b*). Les tableaux 20, 21 et 21a donnent, respectivement, les recommandations visant le mélange de tourbe, le programme d'irrigation fertilisante et les concentrations d'éléments nutritifs.

Tableau 20 Substrat recommandé pour les concombres cultivés en sacs de tourbe

Mélanges	Ingrédients	Quantités
A	Tourbe horticole (57 % du volume total)	3,0 balles (0,17 m^3)
	Vermiculite (25 % du volume total)	3,0 sacs (0,11 m^3, 7 kg)
	Perlite (18 % du volume total)	2,0 sacs (0,11 m^3, 7 kg)
B	Pierre à chaux pulvérisée	7,0 kg
	Pierre à chaux dolomitique moulue	5,0 kg
	Superphosphate broyé (20 % de phosphore)	1,5 kg
	Sulfate de potassium	1,0 kg
	Oligo-éléments frittés (FTE 302)	150,0 g
C	Engrais 18-6-12 à action lente (9 mois)	2,0 kg
D	Nitrate de potassium	0,6 kg
	Sulfate de magnésium	0,3 kg
	Fer chélaté (Fe EDTA, 13 % de fer)	35,0 g
E	Agent mouillant	0,1 L

Nota : Mélanger séparément les ingrédients des mélanges A et B. Dissoudre les ingrédients des mélanges D et E dans 20 L chacun. Combiner les mélanges A, B et C et mouiller avec les solutions D et E, en ajoutant au besoin de l'eau au fur et à mesure. Le mélange devrait permettre de remplir au moins 32 sacs de tourbe mesurant 0,35 m sur 1,05 m à plat.

Tableau 21 Programme d'irrigation fertilisante des concombres cultivés en sacs de tourbe de Harrow

	Engrais dans la solution-mère A[a] (kg/1000 L)			Engrais dans la solution-mère B[a] (kg/1000 L)			Irrigation	
Semaine après la plantation	Nitrate de calcium	Nitrate de potassium	Nitrate d'ammonium	Phosphate monopotassique	Sulfate de magnésium	Nitrate de magnésium	Volume (L/plant jour)	CE (µS/cm)
				Culture de printemps				
1	50			100	25		0,4	1300
2	50	35		30	25		0,6	1450
3	50	50	10	30	25		0,8	1750
4	50	50	15	30	25		1,0	1850
5	50	55	15	30	25		1,2	1900
6	50	60	15	30	25		1,4	1950
7	50	65	15	30	25		1,6	2000
8	50	70	15	30	25		1,6	2050
9	50	70	15	30	25		1,8	2050
10	50	70	15	30	25		2,0	2050
11	50	70	15	30	25		2,0	2050
12–17	50	60	15	30		35	2,0	1950
18–22	50	55	16	30		35	3,0	1900
23–fin	50	50	15	30		35	2,6	1850
				Culture d'automne				
1	50			100	25		0,6	1300
2	50	35		30	25		0,8	1450
3	50	50	10	30	25		1,2	1750
4	50	50	15	30	25		1,6	1850
5–12	50	55	15	30		35	2,0	1900
13–fin	50	55	15	30		35	1,4	1900

[a] *Attention* : Si l'on mélange d'abord les engrais en solutions-mères épaisses avant leur apport aux plants, il faut les grouper de la façon indiquée. Il ne faut pas mélanger dans une même solution concentrée un engrais calcique et un engrais sulfaté ou phosphaté, car un tel mélange produit une suspension épaisse qui peut obstruer l'équipement d'arrosage.

Nota :

- Il faut aussi ajouter des oligo-éléments à toutes les solutions fertilisantes ci-dessus. Un mélange type d'oligo-éléments (le mélange d'oligo-éléments chélatés de Plant Products Ltd., par exemple) contient 7,0 % de fer, 2,0 % de magnésium, 0,4 % de zinc, 0,1 % de cuivre, 1,3 % de bore et 0,06 % de molybdène. Quand on l'ajoute à la solution-mère à raison de 2 kg pour 1 000 L, il apporte à la solution finale 1,4 ppm de fer, 0,4 ppm de magnésium, 0,08 ppm de zinc, 0,02 ppm de cuivre, 0,26 ppm de bore et 0,012 ppm de molybdène, pour un ratio de dilution de 1:100.
- Dissoudre la quantité voulue de chaque engrais, y compris des oligo-éléments, dans 1 000 L d'eau et ajouter à l'eau d'irrigation en doses égales, de préférence à l'aide d'un injecteur d'engrais à plusieurs aiguilles. Commencer l'injection à un taux très faible et augmenter le taux d'injection progressivement et uniformément sur toutes les aiguilles, jusqu'à ce qu'on obtienne la conductivité électrique voulue. Ajuster le pH de la solution nutritive à 5,5 en injectant une solution diluée d'acide phosphorique, nitrique ou sulfurique. On peut aussi, si on le préfère, dissoudre les engrais, y compris les oligo-éléments, dans 100 000 L d'eau, corriger le pH et apporter la solution directement aux plants.
- La concentration recommandée des solutions-mères est dans la gamme de fonctionnement d'un injecteur d'engrais (taux de dilution de 1:100). Si l'on utilise un taux de dilution de 1:200, il faut doubler la quantité de chaque engrais. Faire des ajustements semblables si l'on utilise d'autres taux de dilution. Si la limite de solubilité d'un engrais (nitrate de potassium, par exemple) est dépassée, préparer plus d'une solution-mère du même engrais et diviser l'engrais en parts égales entre les solutions-mères.

Tableau 21a Concentrations d'éléments nutritifs dans la solution nutritive finale, quand on mélange une part de chacune des solutions-mères A et B, préparées conformément au tableau 16, à 98 parts d'eau (autrement dit un taux de dilution de 1:100)

Semaine	Concentration des éléments nutritifs (ppm)												CE[a] prévue (µS/cm)
	$N\text{-}NO_3$	$N\text{-}NH_4$	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Mo	
						Culture de printemps							
1	72	3	235	300	95	25	1,4	0,4	0,08	0,02	0,26	0,012	1300
2	117	5	69	218	95	25	1,4	0,4	0,08	0,02	0,26	0,012	1450
3	162	22	69	275	95	25	1,4	0,4	0,08	0,02	0,26	0,012	1750
4	170	30	69	275	95	25	1,4	0,4	0,08	0,02	0,26	0,012	1850
5	176	30	69	294	95	25	1,4	0,4	0,08	0,02	0,26	0,012	1900
6	182	30	69	313	95	25	1,4	0,4	0,08	0,02	0,26	0,012	1950
7	188	30	69	332	95	25	1,4	0,4	0,08	0,02	0,26	0,012	2000
8–11	194	30	69	351	95	25	1,4	0,4	0,08	0,02	0,26	0,012	2050
12–17	182	30	69	313	95	32	1,4	0,4	0,08	0,02	0,26	0,012	1950
18–22	176	30	69	294	95	32	1,4	0,4	0,08	0,02	0,26	0,012	1900
23–fin	170	30	69	275	95	32	1,4	0,4	0,08	0,02	0,26	0,012	1850
						Culture d'automne							
1	72	3	235	300	95	25	1,4	0,4	0,08	0,04	0,26	0,012	1300
2	117	5	69	218	95	25	1,4	0,4	0,08	0,04	0,26	0,012	1450
3	162	22	69	275	95	25	1,4	0,4	0,08	0,04	0,26	0,012	1750
4	170	30	69	275	95	25	1,4	0,4	0,08	0,04	0,26	0,012	1850
5–fin	176	30	69	294	95	32	1,4	0,4	0,08	0,04	0,26	0,012	1900

[a] La conductivité électrique de l'eau, qu'on suppose être de 300 mS/cm, est incluse.

Sciure de bois

Dans les années 50 et 60, les stations de recherches de Saanichton et d'Agassiz ont mis au point un système de culture des concombres de serre dans la sciure de bois (planche IV*c*). Ce système a été généralement adopté par les serristes commerciaux en Colombie-Britannique et, dans une certaine mesure, en Alberta dans les années 70 et 80, mais il est maintenant supplanté par la culture dans la laine de roche. La sciure de bois a pour avantages d'être bon marché, légère et facilement disponible. Bien que la laine de roche offre elle aussi certains de ces avantages, il se peut que la sciure de bois suscite un regain d'intérêt, parce qu'il est plus facile de s'en débarrasser que de la laine de roche.

Autrefois, la sciure de bois utilisée pour la culture provenait du Douglas taxifolié et de la pruche occidentale. Éviter d'utiliser la sciure du thuya géant, qui s'est avérée toxique, en particulier quand elle est fraîche. On peut mélanger d'autres matériaux organiques ou inorganiques à la sciure pour en améliorer les propriétés chimiques et physiques. Toutefois, les divers mélanges doivent être préparés et essayés sur une petite échelle dans des conditions bien contrôlées. La

distribution désordonnée de nombreux mélanges organiques aux caractéristiques chimiques et physiques variées rend la tâche plus difficile aux producteurs et nuit à l'utilisation rentable de cette précieuse ressource canadienne.

N'utiliser que de la sciure de bois de qualité horticole et veiller à ce qu'elle ne contienne aucun contaminant toxique pour les plants (des antifongiques utilisés par l'industrie du bois de sciage). En cas de doute, faire analyser un échantillon de sciure de bois pour vérifier si la conductivité électrique ou la concentration d'un élément quelconque (manganèse) dépasse les niveaux normaux.

Placer la sciure de bois dans des rigoles, des planches, des sacs en position verticale, des sacs couchés ou même de grands pots. Quel que soit le contenant, utiliser au moins 10 L de sciure par plant. Les méthodes de culture dans la sciure sont semblables à celles qui ont été décrites plus haut pour la culture dans la tourbe.

Les apports d'engrais peuvent se faire de deux façons : ou bien fournir tous les éléments nutritifs en solution à chaque irrigation (tableaux 22 et 22a) ou incorporer certains des éléments dans la sciure avant la plantation et fournir le reste dans l'eau d'irrigation (tableaux 23 et 23a).

Les doses d'engrais indiquées dans le tableau 22 sont recommandées pour la culture des concombres dans la sciure de bois non fertilisée. Celles que présente le tableau 23 sont recommandées pour la culture des concombres dans la sciure de bois enrichie au superphosphate (0-19-0), à raison de 2,4 kg/m^3, et à la pierre à chaux dolomitique, à raison de 4 kg/m^3. Pour s'assurer de l'assimilabilité à long terme du calcium et du magnésium, fournir la moitié de la pierre à chaux sous forme grossière et l'autre moitié sous forme fine.

On peut préparer de deux façons les solutions décrites aux tableaux 22a et 23a. L'une consiste à dissoudre les doses voulues d'engrais dans l'eau et à fournir directement cette solution aux plants. L'autre consiste à préparer des solutions-mères concentrées (par exemple, 100 fois la dose indiquée) et à les incorporer dans l'eau d'irrigation à l'aide d'un injecteur d'engrais, à un taux de dilution de 1:100. Le tableau 24 indique les doses révisées à utiliser pour préparer les solutions-mères destinées à être diluées à un taux de 1:100 et pour préparer directement la solution diluée. Il ne faut pas oublier que le mélange de fortes concentrations de calcium et de sulfates produit toujours des précipitations de sulfate de calcium et qu'il faut donc préparer au moins deux solutions-mères.

Tableau 22 Apports d'engrais pour les concombres cultivés dans de la sciure de bois non fertilisée

Solution-mère[a]	Engrais	Concentration d'azote dans la solution finale		
		N à 126 ppm	N à 168 ppm	N à 210 ppm
		Quantité d'engrais dans la solution finale (g/1000 L)		
A	Nitrate de potassium	160	500	550
	Nitrate de calcium	680	680	680
	Nitrate d'ammonium	–	–	100
B	Sulfate de potassium	360	44	–
	Sulfate de magnésium	500	500	500
		Volume de solution-mère ajouté (mL/1000 L)		
C	Solution-mère d'oligo-éléments[b]	220	220	220
	Acide phosphorique (75 %)[c]	100	100	100

[a] *Attention* : Si l'on mélange d'abord les engrais en solutions-mères épaisses avant leur apport aux plants, il faut les grouper de la façon indiquée. Il ne faut pas mélanger dans une même solution concentrée un engrais qui contient du calcium et un engrais qui contient du sulfate ou du phosphate, car un tel mélange produit une suspension épaisse qui peut obstruer l'équipement d'arrosage.

[b] On prépare la solution-mère d'oligo-éléments en dissolvant dans un litre d'eau chaude les éléments suivants : 100 g de chélate de fer (7 % Fe), 15 g de sulfate de manganèse, 12 g d'acide borique, 2,2 g de sulfate de zinc, 0,6 g de sulfate de cuivre et 0,2 g d'acide molybdique. Quand on ajoute cette solution-mère d'oligo-éléments à la solution nutritive finale à raison de 220 mL/L, la concentration des oligo-éléments dans la solution finale est la suivante : 1,54 ppm de fer, 1,07 ppm de magnésium, 0,46 ppm de bore, 0,11 ppm de zinc, 0,034 ppm de cuivre et 0,023 ppm de molybdène.

[c] À condition de faire attention, on peut ajouter directement de l'acide phosphorique concentré (75 %) à la solution nutritive finale sans dilution préalable.

Tableau 22a Concentrations d'éléments nutritifs fournies par la solution finale quand on utilise les doses d'engrais indiquées dans le tableau 22

	Concentration d'éléments nutritifs dans la solution finale (ppm)		
Élément nutritif	N à 126 ppm	N à 168 ppm	N à 210 ppm
Azote ($N0_3$)	119	162	189
Azote (NH_4)	7	6	21
Phosphore	47	47	47
Potassium	208	208	208
Calcium	129	129	129
Magnésium	50	50	50
Fer	1,54	1,54	1,54
Manganèse	1,07	1,07	1,07
Bore	0,46	0,46	0,46
Zinc	0,11	0,11	0,11
Cuivre	0,034	0,034	0,034
Molybdène	0,023	0,023	0,023

Tableau 23 Apports d'engrais pour les concombres cultivés dans la sciure de bois fertilisée

	Concentration d'azote dans la solution finale		
Engrais	N à 126 ppm	N à 168 ppm	N à 210 ppm
	Quantité d'engrais dans la solution finale (g/1000 L)		
Nitrate de potassium	550	550	550
Nitrate d'ammonium	160	280	410
	Volume de solution-mère ajouté (mL/1000 L)		
Solution-mère d'oligo-éléments[a]	220	220	220
Acide phosphorique (75 %)[b]	100	100	100

[a] On prépare la solution-mère d'oligo-éléments en dissolvant dans un litre d'eau chaude les éléments suivants : 100 g de chélate de fer (7 % Fe), 15 g de sulfate de manganèse, 12 g d'acide borique, 2,2 g de sulfate de zinc, 0,6 g de sulfate de cuivre et 0,2 g d'acide molybdique. Quand on ajoute cette solution à la solution nutritive finale à raison de 220 mL/L, la concentration d'oligo-éléments dans la solution nutritive finale est la suivante : 1,54 ppm de fer, 1,07 ppm de magnésium, 0,46 ppm de bore, 0,11 ppm de zinc, 0,034 ppm de cuivre et 0,023 ppm de molybdène.

[b] À condition de faire attention, on peut ajouter directement de l'acide phosphorique concentré (75 %) à la solution nutritive finale sans dilution préalable.

Tableau 23a Concentrations des éléments nutritifs provenant de la solution finale quand on ajoute les engrais aux doses indiquées dans le tableau 23

	Concentration d'éléments nutritifs dans la solution finale (ppm)		
Élément nutritif	N à 126 ppm	N à 168 ppm	N à 210 ppm
Azote ($N0_3$)	98	121	140
Azote (NH_4)	27	47	70
Phosphore	47	47	47
Potassium	209	209	209
Calcium	0	0	0
Magnésium	0	0	0
Fer	1,54	1,54	1,54
Manganèse	1,07	1,07	1,07
Bore	0,46	0,46	0,46
Zinc	0,11	0,11	0,11
Cuivre	0,034	0,034	0,034
Cobalt	0,023	0,023	0,023

Tableau 24 Apports d'engrais suggérés pour les concombres cultivés dans la sciure de bois (selon les nouvelles recommandations du ministère de l'Agriculture, des Pêches et de l'Alimentation de la Colombie-Britannique)

Solution-mère	Engrais	Engrais dans la solution-mère (taux de dilution de 1:100)) (kg/1000 L)	Engrais dans la solution finale (g/1000 L)
A	Nitrate de potassium	50,0	500,0
	Nitrate de calcium	75,0	750,0
	Chélate de fer (7 % Fe)	1,4	14,0
B	Phosphate monopotassique	20,0	200,0
	Sulfate de potassium	9,6	96,0
	Sulfate de magnésium	25,0	250,0
	Sulfate de manganèse (28 % Mn)	0,107	1,07
	Acide borique (20,5 % B)	0,243	2,43
	Sulfate de zinc (36 % Zu)	0,027	0,276
	Sulfate de cuivre (25 % Cu)	0,012	0,120
	Molybdène (54 % Mo)	0,009	0,092

Nota : Quand on utilise les doses d'engrais recommandées, la solution finale fournira les concentrations suivantes d'éléments nutritifs : 168 ppm d'azote ($N0_3$), 7 ppm d'azote (NH_4), 46 ppm de phosphate, 286 ppm de potassium, 142 ppm de calcium, 25 ppm de magnésium, 1,0 ppm de fer, 0,3 ppm de manganèse, 0,5 ppm de bore, 0,1 ppm de zinc, 0,03 ppm de cuivre et 0,05 ppm de molybdène.

Balles de paille

L'emploi des balles de paille a été populaire il y a quelques dizaines d'années dans plusieurs pays, notamment au Royaume-Uni, pour la culture des concombres, là où les maladies terricoles limitaient de beaucoup la productivité. Pendant plusieurs années, la disponibilité et le faible coût de la paille en ont fait un substitut intéressant du sol, mais la paille a graduellement perdu de son intérêt avec la mise au point de nouveaux substrats de meilleure qualité. Aujourd'hui, la paille n'est utilisée que par les producteurs qui utilisent un système de culture bon marché dans de vieilles serres. La brève description qui suit n'est donnée que pour l'histoire et dans l'intérêt des producteurs qui n'ont peut-être pas accès à la technologie de serre moderne.

Pour les cultures de longue durée, utiliser des balles de paille de blé (chaque balle contient 20 kg environ de paille comprimée en parallélépipèdes liés au moyen d'une ficelle de polypropylène). Pour les cultures de courte durée, utiliser de la paille d'orge ou d'avoine, qui se décompose plus rapidement. La paille ne doit contenir aucun résidu d'herbicide (surtout du type régulateur de croissance), qui risque de perturber la croissance des plants ou de les détruire complètement. Placer les balles, bout à bout, en rangées, soit dans des tranchées peu profondes (de 5 à 10 cm), soit sur un sol de niveau, recouvert d'une pellicule de polyéthylène blanc. L'espacement des rangées dépend du système de palissage utilisé. Conditionner les balles de paille pendant 2 à 3 semaines avant la plantation. Le conditionnement consiste à :

- mouiller les balles pour amorcer la fermentation de la paille
- alimenter la fermentation à l'aide d'engrais azotés
- lessiver les sels excédentaires libérés par le processus de fermentation
- apporter à la paille une fumure de base.

Voici, au jour le jour, la marche à suivre pour préparer les balles de paille à la plantation :

Jour 1 : placer les balles de paille dans la serre et élever la température de la serre à un minimum de 12 à 13 °C pour favoriser la fermentation.

Jours 2 – 5 : arroser les balles tous les jours, en petites doses fréquentes (parce que la paille est difficile à imprégner d'eau) pour mouiller complètement la paille.

Jours 4 – 5 : épandre de 120 à 150 g de nitrate d'ammonium sur chaque balle de paille.

Jours 6 – 8 : arroser tous les jours en petites doses fréquentes pour prévenir le lessivage de l'azote.

Jour 9 : ajouter de l'azote (sous forme de nitrate d'ammonium, à raison de 70 à 80 g par balle). La température interne de la paille peut avoir atteint de 50 à 60 °C.

Jours 10 – 12 : ajouter de l'eau.

Jours 13 : analyser la concentration totale de sels dans la balle de paille et lessiver au besoin.

Jour 14 : ajouter une fumure de base (par balle) à raison de 70 à 80 g de nitrate d'ammonium, de 200 g de superphosphate triple, de 100 g de sulfate de magnésium et de 400 g de nitrate de potassium par balle.

Jours 14 – 15 : ajouter de l'eau pour mouiller les engrais de base.

Jours 16 – 17 : préparer le sol ou un autre substrat et en épandre de 5 à 10 cm sur les balles pour faciliter la plantation et aider à établir un bon contact entre le système racinaire des plantons et la paille.

Jours 18 – 20 : planter les concombres, à condition que la température de la paille soit passée au-dessous de 35 °C.

À mesure que poussent les plants, les enrouler de façon lâche autour des ficelles de palissage, qui ne doivent pas être trop tendues pour que les racines ne puissent sortir du substrat quand la paille se décompose et se tasse. Après la plantation, limiter la fumure à un apport d'azote, comme le faisaient les premiers producteurs à utiliser ce système de production. Le tableau 25 présente un programme simple de fertilisation et le tableau 25a indique les concentrations d'éléments nutritifs obtenues par l'emploi de cette méthode.

Tableau 25 Apports d'engrais recommandés pour les concombres cultivés dans des balles de paille

	Engrais[a]		
Semaines	Nitrate d'ammonium	Nitrate de potassium	Sulfate de magnésium
1–3	17		
4–6	40		
7–fin	27	7	7

[a] Engrais, en kg/1 000 L, en solution-mère destinée à être apportée à l'aide d'un injecteur d'engrais à un taux de dilution de 1:100.

Tableau 25a Concentration d'éléments nutritifs dans la solution finale quand on utilise les doses d'engrais recommandées dans le tableau 25

	Concentration d'éléments nutritifs (ppm) dans la solution finale			
Semaines	$N\text{-}NO_3$	$N\text{-}NH_4$	K	Mg
1–3	28	28		
4–6	78	78		
7–fin	55	46	27	7

On a par la suite amélioré le système décrit ci-dessus en substituant aux apports d'engrais solides l'apport continu d'une solution fertilisante. Dans cette dernière méthode, il faut encore entre 10 et 14 jours pour mouiller complètement les balles à l'aide d'une solution nutritive (2-1-2) de faible conductivité électrique (1600 μS/cm). La décomposition initiale (fermentation) de la paille est réduite au minimum. Après la plantation, continuer à apporter la solution nutritive pendant 2 à 5 semaines en abaissant la conductivité électrique à 800 μS/cm, avant de la relever à 1600 μS/cm.

Le déclin de la culture des concombres en balle de paille est attribuable surtout aux facteurs suivants :

- la durée de la préparation des balles et la perte de temps qui en découle entre deux cultures
- les difficultés que présente la maîtrise de la rapidité et de la durée de la fermentation et, par conséquent, la maîtrise de l'assimilation ou de la libération des éléments nutritifs par la paille
- l'encombrement des balles, qui laisse moins d'espace utilisable pour le palissage vertical des plants
- la forte main-d'œuvre exigée par la manutention des balles
- la disponibilité de matériaux inertes plus commodes, qui se prêtent à une conduite plus précise de la fertilisation.

La culture en balles de paille offre de nombreux avantages et pourrait connaître une relance si l'on parvient à réduire au minimum certains des inconvénients. Au nombre de ces avantages, citons les suivants :

- la paille est un produit organique naturel bon marché, facilement disponible, facilement recyclable et non polluant
- la fermentation graduelle de la paille, quand on parvient à la maîtriser, dégage de la chaleur qui contribue à maintenir les racines au chaud et réduit les besoins de chauffage de la serre
- la fermentation de la paille contribue à relever la concentration de gaz carbonique de la serre, ce qui favorise la productivité

- la paille assure une excellente aération des racines et offre un espace suffisant pour la croissance des racines.

D'autres recherches permettraient peut-être de concevoir de meilleures méthodes de fermentation contrôlée de la paille tirant parti de la bien meilleure régulation du milieu ambiant des serres et de l'irrigation fertilisante qu'offre la technologie moderne. Il ne sera peut-être plus nécessaire d'attendre 2 à 3 semaines avant la plantation si l'on trouve de meilleures façons de fournir aux balles un apport continu de solution nutritive complète. Ce serait là éliminer l'un des principaux obstacles à l'emploi rentable des balles de paille pour la culture des concombres.

Culture dans la laine de roche et autres matériaux inertes

La laine de roche est un matériau fibreux produit à partir d'une roche magmatique appelée diabase ou basalte. Pendant la fabrication, les minéraux sont fondus à 1 600 °C environ et transformés en fibres liées par des résines. D'abord fabriqué comme isolant pour l'industrie du bâtiment, ce matériau spongieux est maintenant disponible en cubes ou en plaques. On peut lui ajouter un agent mouillant pour en faire un matériau absorbant convenant à l'horticulture (planche IV*d*).

D'autres produits inertes utilisés comme substrats, seuls ou en combinaison, sont la perlite, la vermiculite, le polyuréthane (Oasis®), les granules d'argile expansée et les billes de polystyrène. Tous ces matériaux inertes sont fabriqués de la même façon que la laine de roche et partagent certaines caractéristiques physiques et chimiques. Ils sont tous stériles (exempts d'agents pathogènes et de graines de mauvaises herbes). Ils ont une faible capacité d'échange cationique et une forte capacité de rétention de l'eau. Ils permettent une bonne aération des racines et se prêtent à une très bonne maîtrise de l'arrosage et de la fertilisation. De plus, vu leur légèreté et leur facilité de manutention, on peut raccourcir l'intervalle entre les cultures. Enfin, ils contribuent de deux façons à des économies d'énergie : ils éliminent la nécessité d'une stérilisation à la vapeur et ils permettent le chauffage des racines, ce qui offre une maîtrise plus précise de la température de l'air à partir des besoins minimaux des jeunes plants plutôt que des besoins des racines.

La vermiculite ne peut être considérée entièrement inerte, parce qu'elle contient du potassium et du magnésium, qui deviennent graduellement assimilables par les plants à mesure que la vermiculite se décompose. Les autres substrats commerciaux non complètement inertes comprennent divers types de sable et de gravier.

La laine de roche est, de beaucoup, le support inerte le plus utilisé. On s'en sert commercialement dans le monde entier, et les producteurs et les chercheurs ont fourni une foule de renseignements sur son emploi.

Toutefois, moyennant une bonne gestion, tous les matériaux mentionnés peuvent produire des rendements semblables. Comme, dans la plupart des cas, la technologie utilisée pour la culture des concombres de serre est la même pour tous les matériaux inertes, les techniques détaillées décrites ici pour la laine de roche s'appliquent également aux autres matériaux. Quand il y a lieu, d'autres matériaux inertes sont mentionnés. Les lignes directrices générales sur l'Arrosage exposées à la rubrique « Sacs de tourbe » s'appliquent aussi aux autres substrats sans sol utilisés en petites quantités.

Laine de roche

La laine de roche de type horticole est fabriquée dans plusieurs pays (Royaume-Uni, Danemark, Pays-Bas, Allemagne, France, États-Unis et, récemment, Canada) sous diverses marques de commerce (Basalan, Capogro, Grodan, Pargro). La composition chimique de la laine de roche varie selon le fabricant, mais, comme les ingrédients qui constituent les fibres ne sont jamais assimilables par les plants, l'apport régulier d'une solution nutritive s'impose.

La laine de roche est vendue en plaques, en blocs ou en granules. Les plaques rectangulaires varient en longueur et en largeur, mais ont généralement une profondeur de 7,5 cm pour la culture de plants comme les tomates, les concombres, les poivrons et les aubergines. Les dimensions usuelles sont les suivantes : 100 × 15 × 7,5 cm; 90 × 15 × 7,5 cm; 100 × 20 × 7,5 cm; 90 × 20 × 7,5 cm; et 90 × 30 × 7,5 cm. Elle se vend aussi en blocs de diverses dimensions pour la germination des semences et la culture des jeunes plants. Les granules de laine de roche sont ajoutés au sol ou utilisés dans des mélanges sans sol. On peut également s'en servir en sacs, comme substitut partiel ou complet de la tourbe.

La laine de roche neuve a un pH de 7,0 à 8,5 environ, qu'il faut ramener à 5,5 environ à l'aide d'une solution fertilisante légèrement acide avant l'utilisation. La concentration d'acide exacte peut être établie par tâtonnements sur une petite échelle, ou l'on peut s'informer auprès du fabricant. Vu la faible capacité d'échange cationique de la laine de roche, il est simple et peu coûteux de corriger son pH, parce qu'il ne faut que de petites quantités de substances chimiques. Avant d'utiliser la laine de roche, il faut la mouiller à fond pour pouvoir corriger son pH, remplir les tubes capillaires et s'assurer de la distribution uniforme de l'eau d'irrigation qui sera ajoutée plus tard. Il faut ajouter 0,8 L d'eau environ à chaque litre de laine de roche pour la saturer complètement. La laine de roche allie une excellente capacité de rétention de l'eau (80 %) à une bonne aération (17 %), même quand elle est entièrement mouillée.

En utilisant le même type de substrat pour la multiplication et la culture, on s'assure que les connexions capillaires entre les jeunes plants et le substrat s'établissent rapidement après la transplantation. De plus, il n'y a pas de dessèchement excessif ni de saturation du substrat autour

des tiges. Les blocs de laine de roche sont disponibles dans une variété de dimensions. Pour la multiplication des concombres, on utilise le plus souvent le cube de 10 cm, emballé individuellement dans du polyéthylène pour empêcher un dessèchement excessif. Faire pousser les semis dans de la vermiculite ou de la perlite puis les transférer à des blocs de laine de roche comportant une cavité sur le dessus. On peut aussi planter les graines dans de petits blocs de laine de roche qui sont conçus pour être placés dans la cavité des plus grands blocs et les recouvrir de vermiculite fine. Avant d'utiliser les blocs de laine de roche, les placer sur du polyéthylène et les mouiller à l'aide d'une solution nutritive acide ou mieux les tremper dans une solution d'aliments nutritifs acides pour corriger le pH. Après le transfert des semis, apporter une solution nutritive à chaque arrosage. Utiliser une forme quelconque de chauffage par le bas pour amener la température du substrat à 22-24 °C, ce qui, en plus d'être bénéfique, peut faire réaliser des économies d'énergie (voir « Transplantation » à la rubrique «Pratiques culturales générales»).

Quand ils sont prêts, placer les semis debout sur les plaques de laine de roche en utilisant des trous prédécoupés dans le revêtement de plastique, et veiller à ce qu'il y ait un bon contact entre les blocs de multiplication et les plaques. Placer un ou plusieurs goutteurs du réseau d'irrigation sur chaque bloc de multiplication (fig. 15). Il peut être bon de placer les semis debout sur les plaques de laine de roche pendant plusieurs jours avant de découper des trous dans le revêtement de plastique. On limite ainsi au bloc de transplantation la croissance des racines et on ralentit la croissance du plant en limitant l'apport d'eau au début de la culture de printemps, quand l'éclairage est limité. Quand les plants ont établi un bon système racinaire, faire des fentes de drainage dans les côtés du revêtement de plastique, près du fond des plaques. La distance entre les fentes et le fond de la plaque détermine le volume de la réserve de solution nutritive et joue un rôle important dans la configuration du réseau d'irrigation et dans la conduite de l'irrigation : plus les fentes sont proches du fond, plus la réserve de solution nutritive est petite et plus il faut irriguer fréquemment. Par contre, quand les fentes sont proches du fond, un moins grand volume de substrat est saturé et l'emploi de la laine de roche comme milieu d'enracinement est plus efficace, ce qui, en théorie, devrait entraîner une plus grande productivité. Les producteurs qui ont peu d'expérience de l'emploi de la laine de roche avec des systèmes d'irrigation goutte-à-goutte de rendement modeste devraient commencer par faire les trous de drainage à une certaine distance (1 à 3 cm) du fond des plaques. À mesure qu'ils prendront de l'expérience, ils pourront graduellement pratiquer les fentes de drainage plus bas pour maximiser l'utilisation de la laine de roche disponible. Les lignes sur l' « Arrosage » exposées à la rubrique « Sacs de tourbe » s'appliquent également à la laine de roche (fig. 16 et 17).

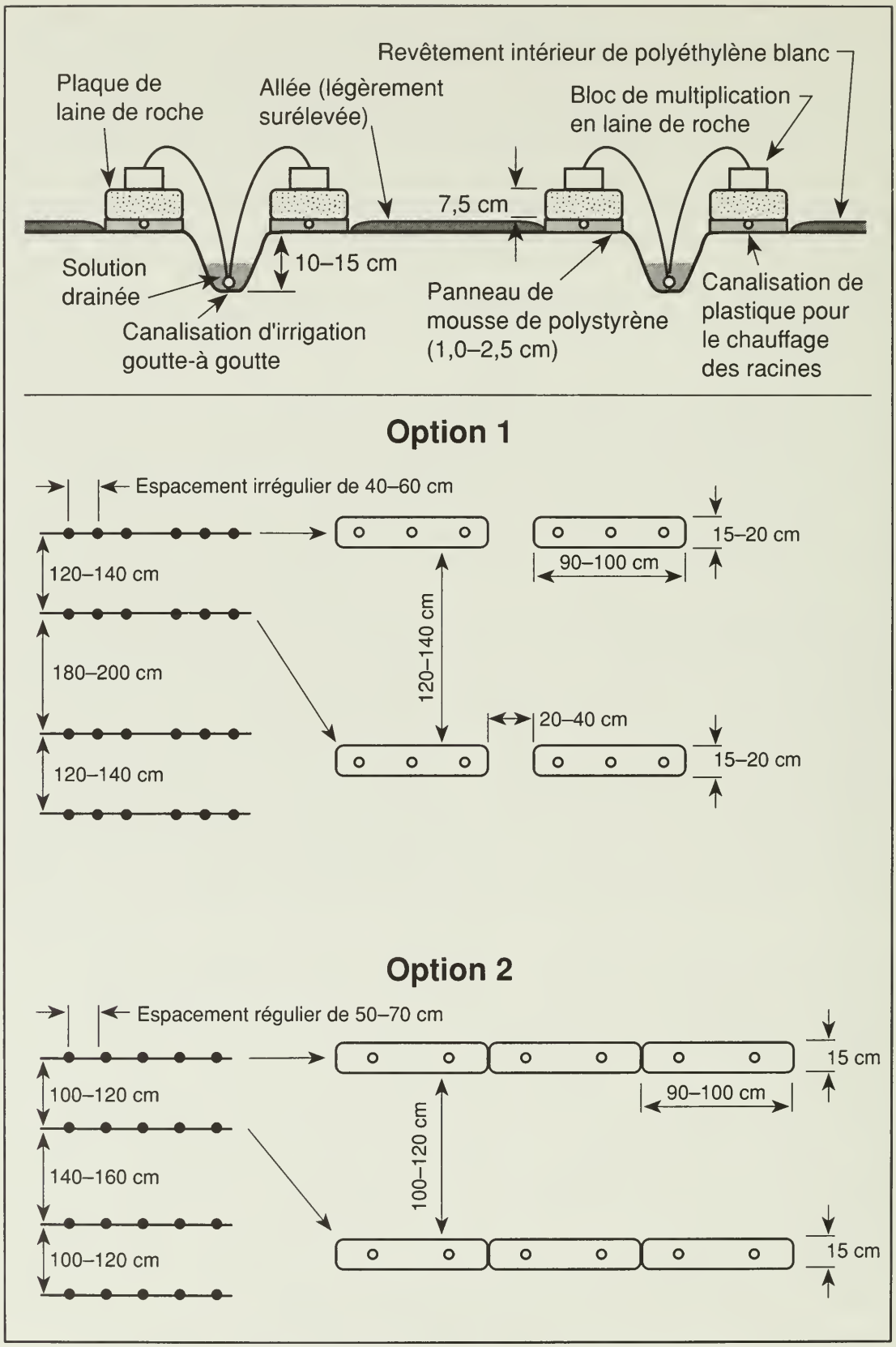

Fig. 15 Disposition type des plants pour la culture dans la laine de roche. *Option 1* : les plants sont formés sur le système du cordon horizontal ce qui donne à chaque plant une taille de 50 cm × 160 cm = 0,8 m². *Option 2* : les plants sont formés sur le système du cordon vertical ce qui donne à chaque plant une taille de 60 cm × 130 cm = 0,78 m².

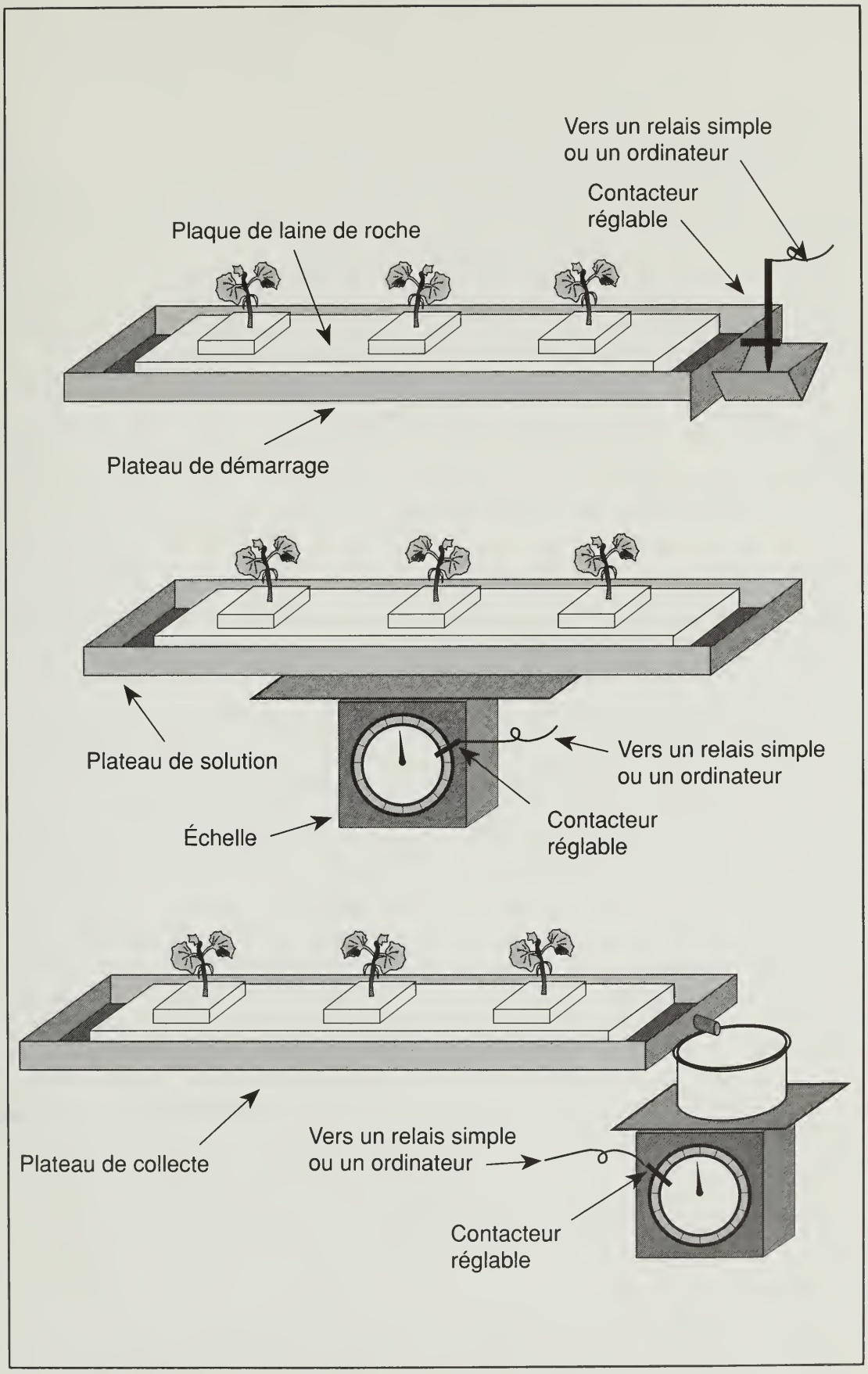

Fig. 16 Méthodes de conduite de l'irrigation pour la culture dans la laine de roche.

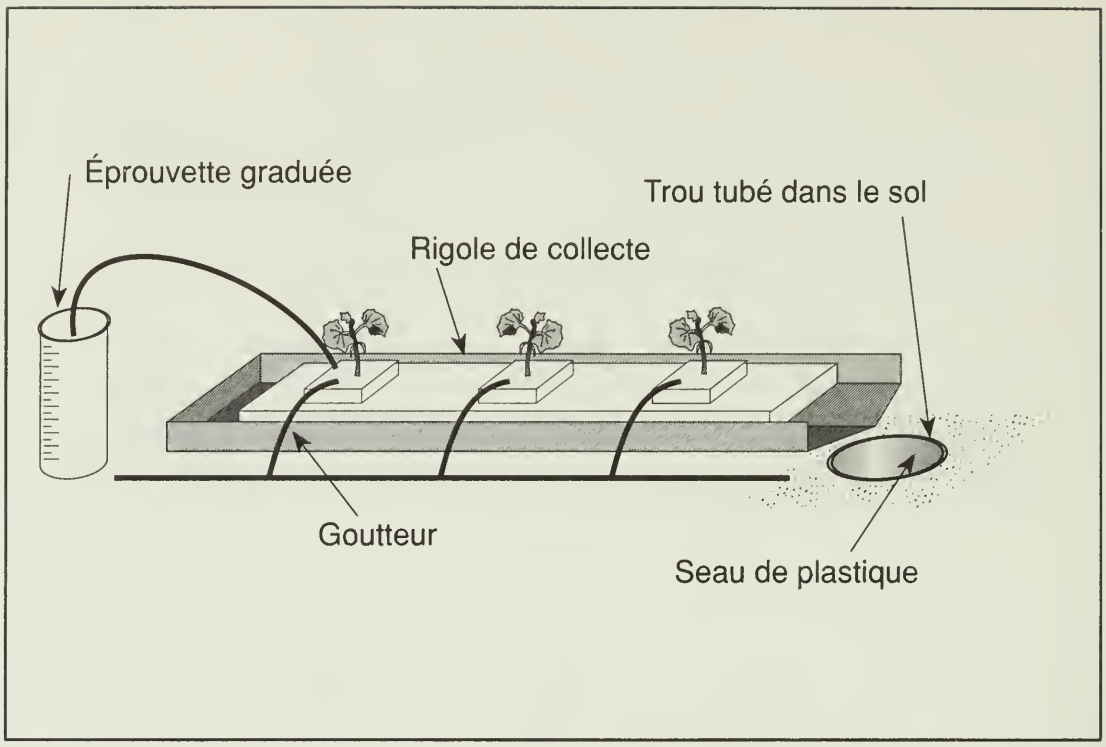

Fig. 17 Installation type de dosage de l'eau fournie et lessivée, par plant, pour la culture dans la laine de roche.

Les rangées de plaques de laine de roche doivent être le plus possible de niveau, et les plaques doivent être placées sur des panneaux de polystyrène, pour compenser les petites imperfections de la surface du sol. Ces panneaux font partie d'un système de chauffage du substrat, où de l'eau chaude circule dans des tubes de polyéthylène placés dans des sillons découpés dans le polystyrène. Le polystyrène sert d'isolant entre les plaques chaudes de laine de roche et le sol froid qui se trouve au-dessous.

La composition de la solution fertilisante utilisée pour la culture dans la laine de roche dépend de la composition chimique de l'eau d'irrigation, du stade de croissance des plants et de la saison. Après avoir fait analyser l'eau d'irrigation, on peut calculer les doses d'engrais et d'acides dont on a besoin pour obtenir la solution nutritive optimale que la recherche et l'expérience auront permis d'établir (tableaux 26 et 26*a*). Il faut toujours tenir compte de la qualité de l'eau d'irrigation dans l'établissement d'un programme de fertilisation. Cela est encore plus important pour la culture dans la laine de roche que pour la culture dans le sol. Si, par exemple, l'eau a une forte teneur en calcium ou en magnésium, il faut réduire en conséquence les doses de nitrate de calcium et de sulfate de magnésium et compenser la perte d'azote entraînée par cette réduction en augmentant les apports d'un autre engrais azoté. D'autres éléments nutritifs, comme le potassium et l'azote, sont rarement présents dans l'eau en quantités telles qu'il faille ajuster la solution nutritive. L'eau est parfois riche en oligo-éléments comme le fer, le zinc et le manganèse, auquel cas il peut être nécessaire de modifier la solution fertilisante.

Tableau 26 Programme d'irrigation fertilisante des concombres cultivés dans de la laine de roche

Calendrier d'application	Solution-mère A[a] (kg/1000 L)			Solution-mère B[a] (kg/1000 L)				Irrigation recommandée[b]	
	Nitrate de calcium	Nitrate de potassium	Nitrate d'ammonium	Phosphate monopotassique	Sulfate de potassium	Sulfate de magnésium	Nitrate de magnésium	Volume (L/plant jour)	CE (µS/cm)
				Culture de printemps					
Saturation des plaques	110	32	0	17	15	33	0	5	2200
Semaine 1	80	46	0	13	4	25	0	0,6	1800
2	90	50	0	14	5	27	0	0,8	2000
3–4	100	50	0	16	12	33	0	1,0–2,0	2200
5–6	100	78	0	20	0	37	0	2,0–3,0	2400
7–9	95	78	3	19	0	35	0	3,0–4,0	2400
10–12	83	73	6	16	0	30	0	3,0–4,0	2200
13–19	74	66	6	14	0	14	14	3,0–4,0	2000
20–fin	66	60	4	10	0	0	27	3,0–5,0	1800
				Culture d'automne					
Saturation des plaques	110	32	0	17	15	33	0	5	2200
Semaine 1	80	46	0	13	4	25	0	0,8	1800
2	90	50	0	14	5	27	0	1,2	2000
3	100	50	0	16	12	33	0	1,0–2,0	2200
4–8	95	78	3	19	0	35	0	2,0–3,0	2400
9–fin	83	73	6	16	0	30	0	1,0–2,0	2200

[a] *Attention* : Si l'on mélange d'abord les engrais en solutions-mères épaisses avant leur apport aux plants, il faut les grouper de la façon indiquée. Il ne faut pas mélanger dans une même solution concentrée un engrais calcique et un engrais sulfaté ou phosphaté, car un tel mélange produit une suspension épaisse qui peut obstruer l'équipement d'arrosage.

[b] Le volume d'eau d'irrigation à utiliser dépend en fait de la conductivité électrique de la laine de roche et du volume de solution excédentaire lessivé. On prévoit que la conductivité électrique de la laine de roche ne dépassera pas 20 % de celle de la solution utilisée, et que le volume lessivé ne dépassera pas 20 à 30 % de la solution utilisée.

Nota :

- Il faut aussi ajouter des oligo-éléments à toutes les solutions fertilisantes ci-dessus. Un mélange type d'oligo-éléments (le mélange d'oligo-éléments chélatés de Plant Products Ltd., par exemple) contient 7,0 % de fer, 2,0 % de magnésium, 0,4 % de zinc, 0,1 % de cuivre, 1,3 % de bore et 0,06 % de molybdène. Quand on l'ajoute à la solution-mère à raison de 1 kg pour 1 000 L, il apporte à la solution finale 0,7 ppm de fer, 0,2 ppm de magnésium, 0,04 ppm de zinc, 0,01 ppm de cuivre, 0,13 ppm de bore et 0,006 ppm de molybdène, pour un ratio de dilution de 1:100.
- Dissoudre la quantité voulue de chaque engrais, y compris des oligo-éléments, dans 1 000 L d'eau et ajouter à l'eau d'irrigation en doses égales, de préférence à l'aide d'un injecteur d'engrais à plusieurs aiguilles. Commencer l'injection à un taux très faible et augmenter le taux d'injection progressivement et uniformément sur toutes les aiguilles jusqu'à ce qu'on obtienne la conductivité électrique voulue. Ajuster le pH de la solution nutritive à 5,5 en injectant une solution diluée d'acide phosphorique, nitrique ou sulfurique. On peut aussi, si on le préfère, dissoudre les engrais, y compris les oligo-éléments, dans 100 000 L d'eau, corriger le pH et apporter la solution directement aux plants.
- La concentration recommandée des solutions-mères est dans la gamme de fonctionnement d'un injecteur d'engrais (taux de dilution de 1:100). Si l'on utilise un taux de dilution de 1:200, il faut doubler la quantité de chaque engrais. Faire des ajustements semblables si l'on utilise d'autres taux de dilution. Si la limite de solubilité d'un engrais (nitrate de potassium, par exemple) est dépassée, préparer plus d'une solution-mère du même engrais et diviser l'engrais en parts égales entre les solutions-mères.

Tableau 26a Concentrations d'éléments nutritifs dans la solution nutritive finale quand on mélange une part de chacune des solutions–mères A et B, préparées conformément au tableau 26, à 98 parts d'eau (taux de dilution de 1:100)

Calendrier d'application	Élément nutritif (ppm)												CE[a] (µS/cm)
	$N\text{-}NO_3$	$N\text{-}NH_4$	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	B	Cu	Mo	
						Calendrier de printemps							
Saturation des plaques	201	11	39	231	209	33	1,4	0,4	0,08	0,26	0,02	0,012	2200
Semaine 1	176	8	29	228	152	25	1,4	0,4	0,08	0,26	0,02	0,012	1800
2	195	9	32	250	171	27	1,4	0,4	0,08	0,26	0,02	0,012	2000
3–4	210	10	37	284	190	33	1,4	0,4	0,08	0,26	0,02	0,012	2200
5–6	246	10	46	353	190	37	1,4	0,4	0,08	0,26	0,02	0,012	2400
7–9	244	15	44	350	180	35	1,4	0,4	0,08	0,26	0,02	0,012	2400
10–12	226	18	37	323	158	30	1,4	0,4	0,08	0,26	0,02	0,012	2200
13–19	230	17	32	291	141	27	1,4	0,4	0,08	0,26	0,02	0,012	2000
23–end	211	13	23	256	125	24	1,4	0,4	0,08	0,26	0,02	0,012	1800
						Calendrier d'automne							
Saturation des plaques	201	11	39	231	209	33	1,4	0,4	0,08	0,26	0,02	0,012	2200
Semaine 1	176	8	29	228	152	25	1,4	0,4	0,08	0,26	0,02	0,012	1800
2	195	9	32	250	171	27	1,4	0,4	0,08	0,26	0,02	0,012	2000
3	210	10	37	284	190	33	1,4	0,4	0,08	0,26	0,02	0,012	2200
4–8	244	15	44	350	180	35	1,4	0,4	0,08	0,26	0,02	0,012	2400
9–end	226	18	37	323	158	30	1,4	0,4	0,08	0,26	0,02	0,012	2200

[a] On suppose que la conductivité électrique de l'eau est nulle (eau de pluie).

Nota : Les concentrations idéales d'oligo-éléments (ppm) dans la solution finale sont les suivantes : 0,6–1,2 de fer, 0,3–0,6 de magnésium, 0,2–0,7 de zinc, 0,4–0,7 de bore, 0,02–0,07 de cuivre et 0,01–0,02 de molybdène.

Éviter une eau saline qui contient plus de 50 ppm de sodium ou 70 ppm de chlore. Quand les concentrations de ces deux ions atteignent respectivement 100 et 140 ppm, il est difficile d'utiliser l'eau pour la culture dans la laine de roche. Quand on utilise de l'eau de pluie, généralement pauvre en bicarbonate, il est conseillé d'ajouter du bicarbonate de potassium à la solution finale (pas aux solutions-mères) pour augmenter le pouvoir tampon de la solution et avoir un pH plus stable dans les plaques de laine de roche. Par contre, si la teneur en bicarbonate dépasse 60 ppm, il faut ajouter de l'acide phosphorique, de l'acide nitrique ou les deux. Pour résoudre ces problèmes particuliers, il est bon de prendre conseil, de préférence auprès d'un conseiller horticole ou d'un producteur expérimenté.

Bien qu'on puisse recycler ou non la solution nutritive dans la culture en laine de roche, il est plus simple et plus fiable d'utiliser un système où la solution n'est pas remise en circulation. Toutefois, même un système à circuit ouvert sans recyclage doit être vérifié et réparé régulièrement. Il est recommandé de vérifier chaque jour le pH et la conductivité électrique de la solution, vu la nature inerte du substrat et

la rapidité de la réaction des plants à des erreurs humaines et à des pannes mécaniques. Un recyclage de la solution (fig. 18) entraîne une moins grande contamination de l'environnement par les engrais et il se peut que son utilisation devienne obligatoire un jour.

Vérifier tous les jours le pH et la teneur en sels de la solution (CE) et analyser toutes les deux semaines les concentrations d'éléments nutritifs essentiels. Pour rectifier tout déséquilibre grave, modifier la solution nutritive, en s'écartant le moins possible de la solution normale. Avant de modifier la solution nutritive, demander l'avis d'une personne expérimentée, et n'appliquer les changements que jusqu'à ce que l'équilibre soit rétabli. On peut également modifier la formule nutritive en fonction de la croissance et de l'aspect des plants, mais de tels changements ne doivent être faits que par une personne qui a l'expérience de la culture dans la laine de roche. Pour réduire les coûts, on peut réutiliser les plaques de laine de roche à condition de les stériliser à la vapeur entre les cultures. Éliminer les sels accumulés en rinçant à fond la laine de roche avec de l'eau ordinaire pendant une heures ou deux avant la stérilisation. On peut aussi utiliser du bromure de méthyle pour stériliser la laine de roche entre deux cultures, mais la stérilisation à la vapeur est plus efficace contre une plus grande variété de pathogènes et est préférable quand elle est disponible. **Les fumigants recommandés, leur emploi et les doses font l'objet de règlements, qui peuvent varier d'une province à une autre. Il faut obtenir un permis pour utiliser certains fumigants (le bromure de méthyle, par exemple). Respectez à la lettre les règlements visant l'emploi des fumigants et prenez les précautions nécessaires pendant l'utilisation.** Après avoir stérilisé les plaques de laine de roche, il faut les remballer dans une pellicule de polyéthylène pour qu'elles soient prêtes à être utilisées de nouveau. Il n'est pas nécessaire de rajuster le pH des plaques recyclées et il est plus facile de les mouiller que de mouiller des plaques neuves. On ne peut généralement pas recycler les plaques de laine de roche plus d'une fois. La structure des fibres tend à se désagréger sous l'effet de la manutention et de la stérilisation, ce qui fait que la porosité diminue à chaque recyclage. Au lieu de recycler les plaques de laine de roche pour réduire les frais de production, on peut envisager d'utiliser les nouvelles plaques de laine de roche qui sont moins denses et coûtent moins cher, mais ne sont pas réutilisables.

Les concentrations idéales d'oligo-éléments dans la solution finale sont les suivantes : 0,6 – 1,2 ppm de fer; 0,3 – 0,6 ppm de magnésium; 0,2 – 0,7 ppm de zinc; 0,4 – 0,7 ppm de bore; 0,02 – 0,07 ppm de cuivre; et 0,01 – 0,02 ppm de molybdène.

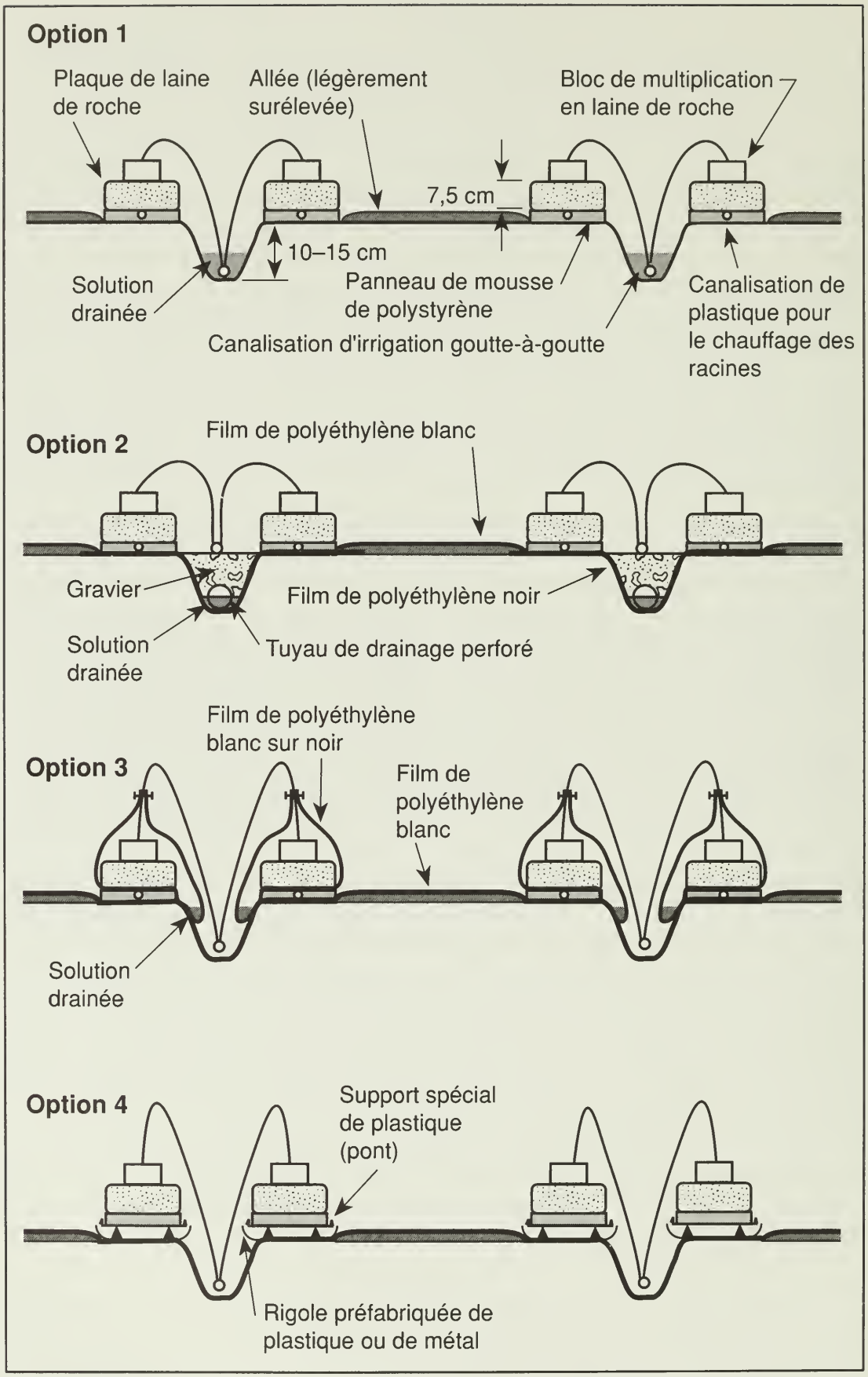

Fig. 18 Méthodes de recyclage de la solution nutritive dans la culture en laine de roche.

Perlite

La perlite est du verre volcanique. Quand cette roche est broyée et chauffée (à 1 000 °C environ), la petite quantité d'eau qui y est emprisonnée se vaporise et fait éclater les granules (à la manière du maïs soufflé), qui se transforment en perles mousseuses blanches. La perlite a d'abord été utilisée dans l'industrie du bâtiment comme isolant, ainsi que pour la fabrication de matériaux de construction légers. Le diamètre des granules de perlite utilisés en agriculture varie entre 1 et 5 mm. La perlite expansée est légère, physiquement stable et chimiquement inerte. Elle a une grande capacité de rétention de l'eau, a une forte attraction capillaire à l'eau et, de plus, est bien aérée en raison de ses bonnes caractéristiques de drainage (tableau 2). Vu la structure à alvéoles fermés de la perlite, la majeure partie de l'eau qui reste après le drainage se trouve à la surface des granules.

Les deux sources principales de perlite sont deux îles : Milos (Grèce) et la Sardaigne (Italie). Bien qu'elle soit souvent utilisée dans des mélanges de sol et des mélanges de tourbe dans le monde entier, c'est surtout en Écosse, en Grèce et dans d'autres pays d'Europe que la perlite est utilisée comme substrat pour la culture des concombres. Les techniques de culture et les programmes de fertilisation ont été décrits dans des publications spécialisées. La croissance et la productivité des cultures, que l'on signale encourageantes, se comparent avec celles qu'offre la culture, plus fréquente, dans la laine de roche.

On peut utiliser des contenants de formes et de dimensions diverses pour la perlite. Les contenants le plus souvent utilisés sont de grands pots, des sacs de plastique en position verticale, des rigoles (semblables à celles qu'on utilise pour la tourbe, fig. 14), et des sacs traversins de dimensions diverses. On peut se référer à des études approfondies, à des rapports et à l'expérience pratique de producteurs pour s'informer des méthodes de culture en sacs et en rigoles mises au point en Écosse.

La première de ces méthodes consiste à utiliser des sacs (traversins) de polyéthylène contenant 30 L de perlite, dans lesquels on peut cultiver trois plants. Elle se caractérise par le fait que des fentes horizontales sont faites dans le sac à 3-4 cm du fond. Tout surplus de solution nutritive s'accumule au fond du sac jusqu'à une hauteur de 3 à 4 cm. Grâce à la bonne capillarité de la perlite, cette réserve offre aux plants un apport constant d'eau, ce qui veut dire que quelques irrigations par jour suffisent et qu'il n'est pas nécessaire d'avoir un système d'irrigation offrant un apport d'eau uniforme. Les concentrations d'éléments nutritifs recommandées en Europe pour la fertilisation des concombres cultivés dans la perlite pendant la saison principale sont les suivantes : 190 ppm d'azote; 42 ppm de phosphate; 260 ppm de potassium; 145 ppm de calcium; 35 ppm de magnésium; 2 ppm de fer; 0,75 ppm de manganèse; 0,5 ppm de zinc; 0,4 ppm de bore; 0,1 ppm de cuivre; et 0,05 ppm de molybdène.

Le système de culture en rigoles est un système en boucle qui convient mieux à la remise en circulation de la solution nutritive. La

caractéristique de ce système est l'utilisation d'une pellicule supplémentaire de plastique, enroulée autour des sacs. Ce plastique maintient une réserve encore plus grande de solution nutritive et permet même l'irrigation souterraine quand le plancher de la serre est suffisamment de niveau. Il est possible, pense-t-on, d'utiliser le même programme de fertilisation pour les concombres cultivés dans la perlite que pour les concombres cultivés dans la laine de roche. Toutefois, les producteurs que cette technique intéresse doivent se montrer prudents, car l'expérience canadienne dans ce domaine est limitée.

Vermiculite

La vermiculite est un silicate d'aluminium et de magnésium hydraté qui se trouve dans la nature sous forme de cristaux en écailles. Il en existe de grands gisements aux États-Unis, en Afrique du Sud et ailleurs. Quand on chauffe la vermiculite à la température voulue, l'eau qui y est emprisonnée se vaporise, ce qui provoque l'exfoliation (gonflement) du minéral. La vermiculite exfoliée est un matériau léger à réaction alcaline, à forte capacité d'échange cationique et de rétention de l'eau. Ces qualités font de la vermiculite un ingrédient très utilisé dans les mélanges à base de sol ou de tourbe utilisés en horticulture.

La vermiculite est rarement utilisée seule comme substrat. Quand le prix le permet, on peut en remplir des rigoles, des sacs ou des pots pour la culture des concombres. La technique générale décrite pour la culture dans la tourbe et le programme de fertilisation recommandé pour la culture dans la laine de roche peuvent servir de point de départ à l'établissement d'une bonne stratégie de conduite des cultures dans la vermiculite.

Les principales raisons pour lesquelles la vermiculite est peu utilisée pour la culture des concombres sont sa réaction alcaline initiale et sa tendance à se tasser au fil du temps. L'effondrement de la structure réduit l'aération et le drainage.

Oasis® et autres matériaux synthétiques

Les matériaux organiques synthétiques comme le polystyrène expansé et les mousses d'urée-formaldéhyde et de polyuréthane sont inertes. Après le traitement nécessaire, ils constituent des substrats intéressants pour la culture des concombres. Certains de ces matériaux sont disponibles en plaques (par exemple, la mousse de polyuréthane) et sont utilisés par les producteurs commerciaux de la même façon que la laine de roche. D'autres matériaux sont disponibles en granules (Oasis®) et ont été substitués aux mélanges de tourbe dans la culture en sacs.

Oasis® est une mousse phénolique, légère et acide qui a une structure stable et offre une grande porosité (97-98 %), une bonne aération et une grande capacité de rétention de l'eau. Ce matériau est disponible en blocs

pour la culture des semis ou en granules pour le remplissage de sacs, mais plus rarement en plaques. Les sacs de plastique utilisés pour Oasis® sont plus étroits que les sacs utilisés pour la tourbe (15 cm de diamètre, en général) et leur longueur varie entre 80 et 120 cm. À raison de deux ou trois plants par sac, le volume disponible à chaque plant est relativement faible (7 L), mais les résultats ont été satisfaisants, même quand on recycle plusieurs fois le matériau (en le stérilisant entre deux cultures).

Vu l'acidité du nouvel Oasis® (pH bien inférieur à 7), il faut faire tremper le matériau dans une solution alcaline (généralement une solution d'un gramme de bicarbonate de potassium par litre d'eau) pendant 24 h avant de faire des fentes dans les sacs. Faire des fentes horizontales de drainage à 2-3 cm du fond du sac. Après le drainage des sacs, suivre les mêmes méthodes de plantation, d'irrigation goutte-à-goutte, d'irrigation fertilisante, etc., que pour la culture en sacs de tourbe ou dans la laine de roche. Aucun programme particulier de fertilisation n'a été décrit, mais on devrait appliquer les mêmes recommandations que pour la culture dans la laine de roche.

Argile expansée

Comme la laine de roche, les granules d'argile expansée ont d'abord été conçus comme isolant pour l'industrie du bâtiment. On les produit en faisant cuire l'argile à 1 100 °C, température où elle se gonfle en granules poreux. Ces granules se vendent en calibres variés pour diverses applications horticoles. Les granules intacts ont une structure à alvéoles fermés. Leur faible capacité de rétention de l'eau et leurs excellentes capacités d'aération et de drainage en font un matériau intéressant pour les systèmes en boucle (à recyclage de la solution nutritive) et les systèmes qui utilisent l'irrigation souterraine. Quand on broie les granules, on expose le matériau poreux et on augmente dans de grandes proportions la capacité de rétention de l'eau du substrat. Les producteurs commerciaux utilisent le matériau dans de grands pots drainés et ont recours à l'irrigation fertilisante goutte-à-goutte (planche IV*e*). La rapidité de la percolation fait préférer les nébulisateurs aux goutteurs. Certains producteurs utilisent des rigoles de plastique pour recueillir l'excédent de solution nutritive. Les recherches sur la conduite des cultures de concombre comprennent le recyclage de la solution nutritive.

Quand on suit les mêmes pratiques de conduite et le même programme de fertilisation que pour la culture en laine de roche, la culture dans des granules d'argile expansée donne des rendements très satisfaisants. La structure stable des granules d'argile, notamment quand ils sont intacts, fait qu'on peut recycler le substrat plusieurs fois, à condition de le stériliser entre deux cultures.

Sable et gravier

D'autres matériaux quasi inertes comme le sable et le gravier ont aussi été utilisés comme substrat pour la culture des légumes de serre. Ce que nous savons de la culture dans le sable et le gravier nous vient surtout de l'étranger. Quelques producteurs en ont fait l'essai au Canada. Ces matériaux sont lourds, d'une manutention peu commode et difficiles à stériliser entre les cultures, et exigent généralement des modifications importantes et permanentes du plancher des serres. Comme la plupart des autres substrats, le sable et le gravier peuvent donner de bons rendements si la culture est conduite comme il le faut et peuvent s'avérer le meilleur choix dans certains cas.

Technique de culture sur film nutritif et autres systèmes hydroponiques

ATTENTION : Le système NFT **n'est pas recommandé pour la culture à long terme des concombres** en raison des pertes fréquentes et inexpliquées de plants causées par la mort des racines. Consultez votre conseiller horticole local avant d'utiliser cette technique (planche IV*f*).

De tous les systèmes de culture sans sol, la culture dans l'eau est, par définition, un vrai système hydroponique. La technique de culture sur film nutritif (NFT) est un système hydroponique relativement récent, où un film de solution nutritive circule sur les racines des plants pour leur fournir les apports nécessaires d'eau, d'éléments nutritifs et d'oxygène (fig. 19). Le concept du film nutritif est attribué à A.J. Cooper, qui, au Glasshouse Crops Research Institute de Littlehampton (Angleterre), en a reconnu les mérites et a commencé à attirer l'attention internationale sur le potentiel commercial de cette technique dès 1973. Depuis, les

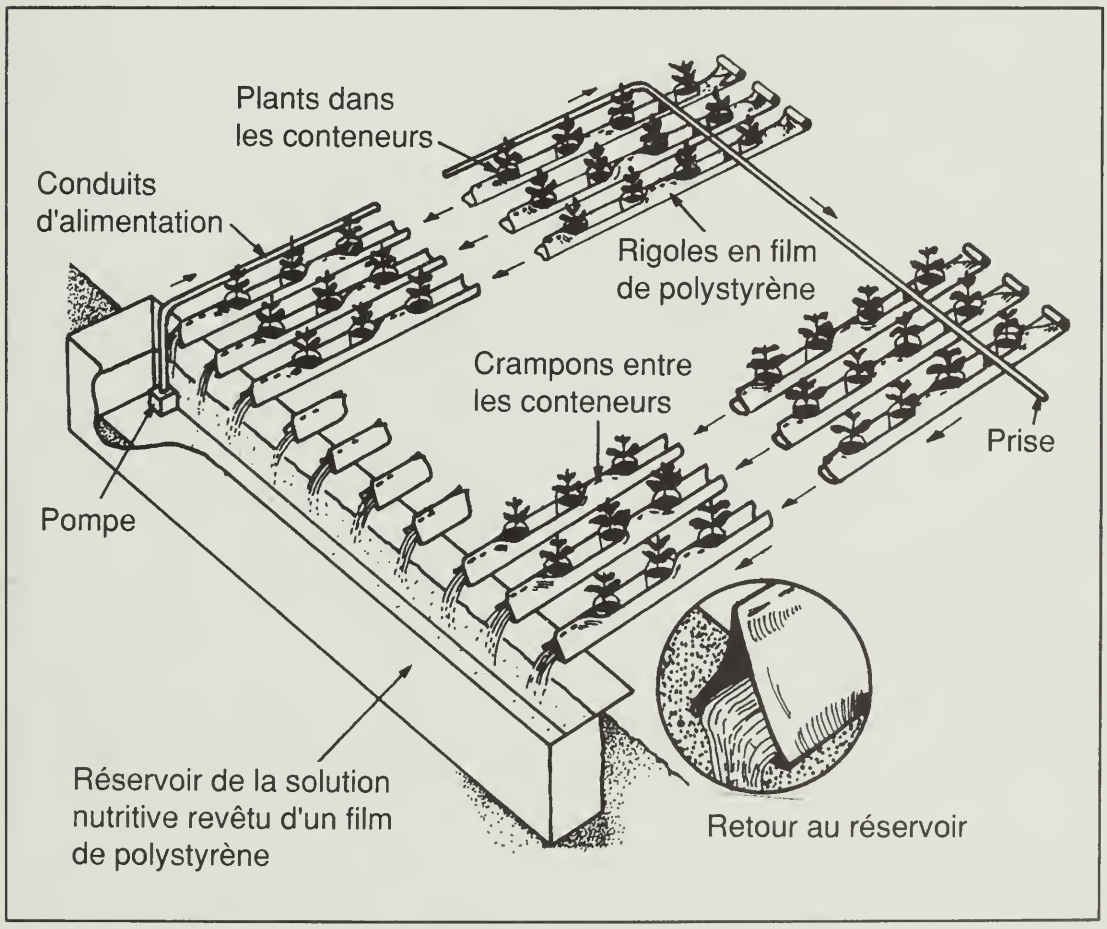

Fig. 19 Le concept de la technique de culture sur film nutritif.

chercheurs et les producteurs commerciaux de nombreux pays, dont le Canada, soumettent le système NFT à des essais intensifs, et l'on considère aujourd'hui qu'il s'agit d'une forme de culture hydroponique commercialement viable.

La figure 20 illustre l'aménagement général d'une installation de culture sur film nutritif et ses divers composants. Il existe de nombreuses versions du système NFT, mais, toutes ont les composants de base suivants :

- Les plants sont cultivés dans des rigoles parallèles, d'une déclivité de 1 à 2 %, où circule la solution nutritive. Au début, les producteurs cultivaient les plants avec les racines dans des tubes posés à plat, mais cette méthode ne permettait pas une aération maximale des racines. Par la suite, on a utilisé des rigoles faites de bandes de polyéthylène pliées dans le sens de la longueur (fig. 21). On peut aussi se servir de plastique semi-rigide pour aménager les rigoles.
- La solution nutritive, composée d'engrais, d'eau et d'acide, est renfermée dans une cuve d'alimentation.
- La solution est soutirée de la cuve par une pompe de circulation, qui l'apporte à l'extrémité supérieure des rigoles.
- Un tuyau collecteur recueille la solution à la sortie des rigoles.
- Les solutions-mères d'engrais concentrés et la solution acide sont entreposées dans des cuves de stockage.

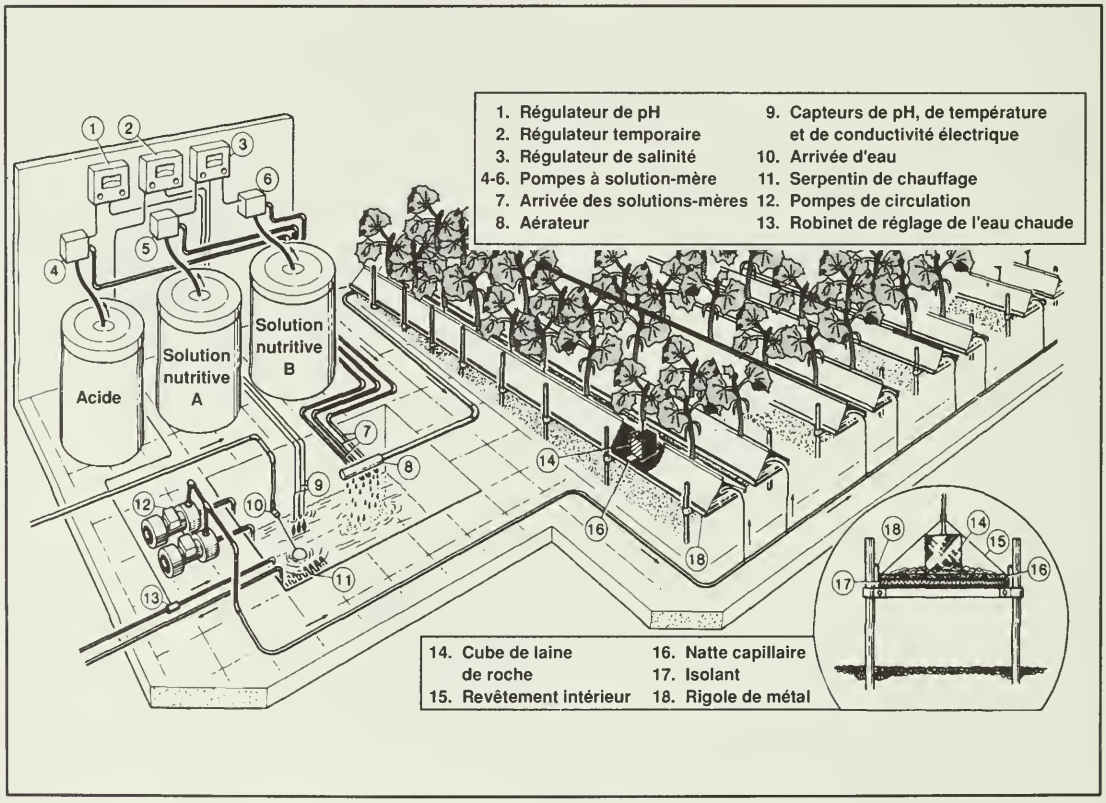

Fig. 20 Installation NFT type.

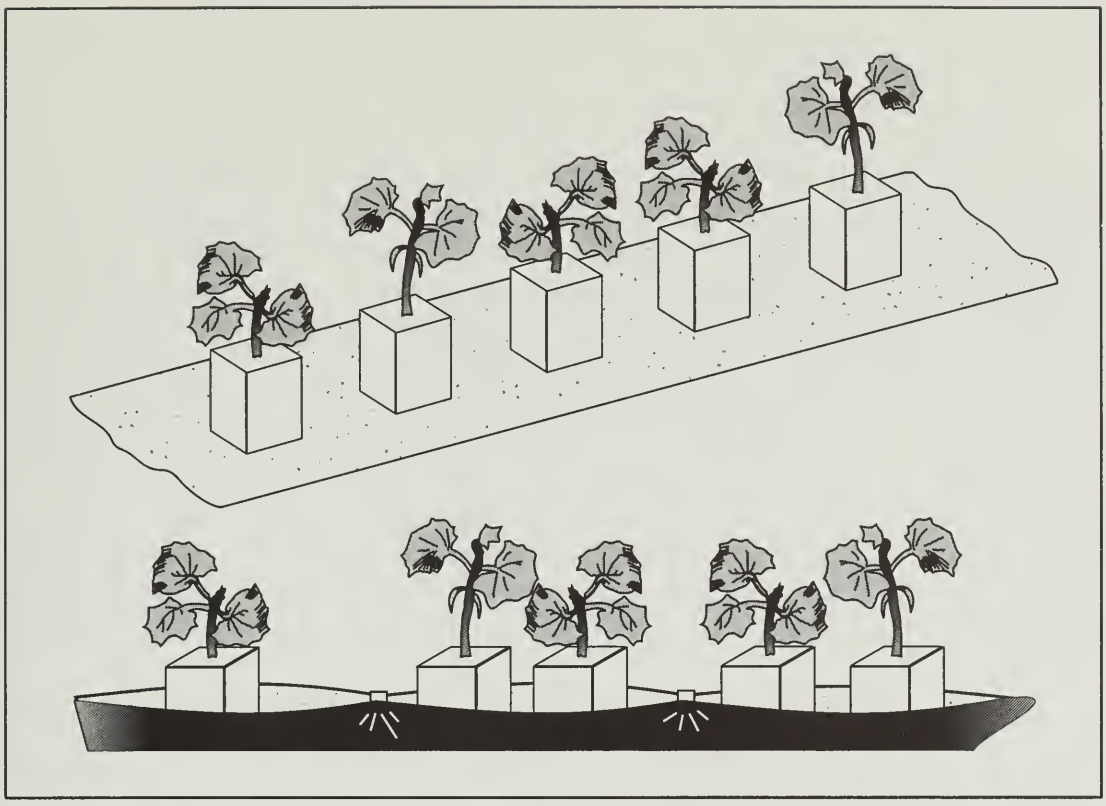

Fig. 21 Construction des rigoles pour un système NFT.

- Un équipement de contrôle et de régulation maintient les concentrations voulues d'éléments nutritifs (y compris la quantité totale de sels), le pH et le niveau d'eau. On utilise souvent un régulateur de conductivité électrique (CE) et un régulateur de pH pour commander le fonctionnement de pompes de dosage ou d'électrovannes. Ces pompes ou vannes commandent le transfert d'engrais et d'acide à la cuve d'alimentation. Un régleur à flotteur mécanique ou une variété de commandes électroniques permettent de maintenir facilement un niveau d'eau constant dans la cuve d'alimentation.

Le système NFT offre de nombreux avantages par rapport à d'autres systèmes de culture. Sa conception repose sur la simplicité, la modicité des coûts et la fiabilité. Plus particulièrement, il offre la maîtrise absolue du milieu racinaire. Il simplifie de beaucoup l'arrosage et fournit un apport uniforme d'éléments nutritifs à tous les plants. On peut facilement relever la température des racines quand on en a besoin en réchauffant la solution nutritive. Celle-ci peut circuler continuellement ou par intermittence, si l'on désire conserver l'énergie et réguler la croissance végétative de jeunes plants cultivés en hiver.

Les autres avantages comprennent un bref intervalle entre des cultures successives, la possibilité d'un emploi plus efficace de la serre, du fait de la mobilité des plants, et la possibilité d'une utilisation plus efficace de l'eau. L'excellente maîtrise de la nutrition, de la disponibilité

de l'eau et du milieu racinaire fait du système NFT le plus élaboré de tous les systèmes de culture commerciale utilisés aujourd'hui. En théorie, il offre le meilleur potentiel de rendement.

Toutefois, nombre de ces avantages sont aussi offerts dans une certaine mesure par d'autres méthodes de culture sans sol, notamment la culture dans la laine de roche. On continue de voir l'avenir du système NFT avec beaucoup de scepticisme, parce qu'on tend à y voir une technique qui exige de grandes compétences techniques. Les producteurs craignent que le recyclage de la solution nutritive ne cause l'aggravation ou la propagation des maladies dans le système, provoquant d'importantes pertes de récolte. Il y a eu des cas répétés de mort inexpliquée des racines, ce qui a avivé les craintes d'une propagation possible de maladies chez les concombres cultivés dans un système NFT.

Le système NFT, la culture en profondeur (lancée au Japon) et d'autres méthodes hydroponiques en boucle sont maintenant évalués de nouveau avec beaucoup d'intérêt, parce qu'ils offrent la possibilité de réduire au minimum les gaspillages d'engrais et la pollution de l'environnement.

À l'origine, le système NFT avait été conçu comme système bon marché qui utilisait des rigoles légères et jetables et de simples régulateurs de la salinité et du pH. Toutefois, après son adoption à l'échelle commerciale, le système est devenu de plus en plus automatisé, standardisé et élaboré, ce qui fait que les coûts en capital de l'installation initiale sont devenus un facteur important pour les producteurs qui envisagent de l'utiliser. Heureusement, le système NFT initial, plus simple et bon marché, est presque aussi bon que les systèmes clés en mains et coûteux qui se vendent sur le marché international. C'est encore le meilleur choix pour le producteur moyen qui aimerait faire l'essai du système NFT sur une petite échelle sans risquer de trop grandes pertes. De nombreuses publications décrivent la technique NFT en détail. Par ailleurs, plusieurs entreprises canadiennes offrent des systèmes NFT clés en mains ou ont en stock tous les instruments et les autres fournitures nécessaires.

Voici, en bref, quelques règles et recommandations générales sur l'emploi du système NFT pour les producteurs qui n'ont peut-être pas accès à des publications spécialisées plus détaillées. Le résumé suivant met l'accent sur certains aspects qui ont causé des problèmes pendant la mise au point du système NFT.

Les rigoles devraient avoir une largeur de 25 à 30 cm à leur base. Il est recommandé d'utiliser des rigoles d'une longueur maximale de 20 m avec une pente nominale de 1 %. On peut utiliser des rigoles plus longues pour la solution nutritive, soit avec une plus grande déclivité, soit avec plusieurs points d'arrivée de la solution le long des rigoles. Pour construire les rigoles, notamment pour une culture d'automne, utiliser une pellicule de polyéthylène coextrudée (blanc sur noir) d'une épaisseur de 0,1 mm. Poser la pellicule (en bandes de 75 cm de largeur), côté noir sur le dessus, sur la surface de support préparée (feuilles de polystyrène sur le sol nivelé ou porte-plateaux faits de métal galvanisé et d'autres

matériaux). Relever les côtés et les agrafer ensemble entre les plants pour former une rigole triangulaire (fig. 21). La surface intérieure noire du plastique contribue à écarter la lumière de la rigole, ce qui empêche la croissance d'algues dans la solution nutritive. La surface extérieure blanche du plastique réfléchit la lumière incidente, ce qui favorise la croissance des plants et empêche le plastique de devenir trop chaud. Les rigoles de plastique surchauffées peuvent brûler les tiges de jeunes plants démarrés pendant l'été. Une fine pellicule de plastique, comme on l'a recommandé plus haut, est préférable à une pellicule plus épaisse. Les plis dans la fine pellicule facilitent la dispersion de la solution nutritive pendant l'établissement des plants, jusqu'à ce qu'une partie suffisante des racines pousse en dehors des blocs de multiplication.

On a essayé diverses méthodes pour empêcher les jeunes plants de se dessécher pendant les premiers jours après la transplantation. Une solution simple et efficace à ce problème consiste à placer les plants sur une bande étroite de natte capillaire lors de la plantation. Pour éviter de déplacer les rigoles de plastique, ce qui ferait perdre de grandes quantités de solution nutritive, il faut généralement installer, plus bas, un deuxième réseau de fils de support pour faciliter la mise en place des plants. Pour éviter les obstructions, utiliser au moins deux boyaux de petit diamètre (de 2 à 3 mm de diamètre intérieur) pour transférer la solution nutritive de la canalisation d'arrivée aux rigoles. Le plus grand nombre possible des composants du système NFT qui entrent en contact avec la solution nutritive doivent être en plastique, parce que le métal peut libérer dans la solution des niveaux potentiellement toxiques de certains oligo-éléments comme le zinc et le cuivre.

Veiller à choisir des plastiques qui ne sont pas phytotoxiques. En règle générale, les polychlorures de vinyle et les polyéthylènes ou polypropylènes basse ou haute densité sont acceptables, mais il ne faut pas utiliser de polychlorure de vinyle plastifié (utilisé dans la fabrication de boyaux souples) ou de revêtement de butyle en feuilles (utilisé pour imperméabiliser les réservoirs), parce qu'ils risquent d'être phytotoxiques. Les plastiques sont plus susceptibles d'être phytotoxiques quand ils sont neufs. Exposées à la solution nutritive, les surfaces de plastique perdent rapidement leur phytotoxicité potentielle. Avant la plantation, il faut donc rincer à fond une nouvelle installation hydroponique pendant une journée à l'aide d'une solution nutritive diluée, qui sera jetée par la suite.

Pour garantir une bonne aération des racines, il faut prévoir un débit suffisant dans les rigoles (2 L/min) et ne pas avoir plus d'un centimètre de solution dans la rigole, même quand la natte racinaire est bien développée. Pour avoir une déclivité uniforme, il faut égaliser avec soin la surface avant d'y poser les rigoles, afin d'éviter des dépressions où pourrait stagner la solution. Il est bon, quand on planifie l'aménagement du système, de tirer parti de toute pente naturelle qui peut exister dans la serre. Une deuxième pente, perpendiculaire aux rigoles facilite le retour de la solution à la cuve principale, qu'il est commode de placer au coin le plus bas de la serre. Dans les premiers systèmes NFT, on comptait sur la

déclivité du sol ou, parfois, d'un revêtement de béton pour assurer l'écoulement de la solution dans les rigoles. Aujourd'hui, on semble s'intéresser de plus en plus aux systèmes surélevés, où les rigoles sont posées sur des plate-formes rigides ou sur des supports réglables. Cela élimine les accumulations de solution dans les creux causés par un mauvais nivellement du sol et permet d'ajuster la déclivité, même pendant la culture. De plus, on peut installer et utiliser un système NFT surélevé dans une vieille serre, où le nivellement du sol peut être difficile ou même impossible. Des contenants de fibre de verre ou de plastique, qu'il est facile de se procurer, peuvent servir de cuves de collecte, mais ils sont généralement trop petits pour convenir à d'autres installations que les petits systèmes NFT. Pour les grandes installations, on utilise parfois des fosses creusées dans le sol et revêtues à l'intérieur d'une pellicule de polyéthylène, mais il est conseillé d'éviter ce système, parce qu'il arrive souvent que la pellicule fuie et cause d'autres problèmes. Un bien meilleur choix consiste à utiliser un revêtement intérieur fait de pellicule de polyéthylène renforcée à la fibre de verre ou de nylon.

Dans la plupart des systèmes NFT, une cuve de béton, bien étanchéisée à la résine, ou une cuve de plastique préfabriquée et munie d'un renforcement extérieur constitue une bonne cuve de collecte permanente. Il faut couvrir la cuve pour en exclure la lumière, prévenir la croissance d'algues et limiter la contamination de la solution par des organismes du sol. Il faut bien isoler la cuve pour empêcher la solution de trop se refroidir, ainsi que pour conserver l'énergie, quand la solution est chauffée. Dans un système NFT où l'on cultive 1 ha de plants adultes, on utilise quelque 50 m^3 de solution nutritive, dont seulement 5 à 8 m^3 se trouvent dans la cuve; le reste circule dans les rigoles. La conception d'un système NFT doit prévoir une cuve d'une capacité minimale de 10 m^3 par hectare de superficie de serre. Si l'on envisage d'utiliser un débit intermittent de solution nutritive, il faut avoir une capacité de cuve bien plus élevée. De grandes cuves permettent d'avoir une plus grande réserve de solution nutritive et de mieux stabiliser le pH du système, mais il faut tenir compte du rapport coût-avantage avant de prendre une décision. Comme tous les aspects des systèmes NFT, la conception des cuves de collecte continue d'évoluer, car l'on cherche à améliorer le mélange et l'aération de la solution nutritive et à obtenir une régulation optimale du pH et de la conductivité électrique.

On a mis au point diverses techniques pour augmenter encore plus l'oxygénation de la solution nutritive. On peut installer deux tuyaux de retour qui pénètrent dans la cuve perpendiculairement l'un à l'autre, afin que les flots de solution nutritive convergent bien au-dessus de la solution qui se trouve dans la cuve. De plus, pour stimuler la dispersion de la solution, on peut utiliser un coude ou d'autres types de raccord pour amener la solution nutritive dans la cuve, au lieu d'utiliser un tuyau droit. Pour augmenter délibérément le mélange et l'aération de la solution nutritive dans la cuve, on peut retourner directement, sous pression, une partie de la solution pompée par la pompe de circulation principale. Comme pour tout autre composant qui entre en contact avec la solution

nutritive, il faut s'assurer que la pompe principale peut pomper des solutions corrosives. Il faut donc utiliser des pompes à corps d'acier inoxydable ou de plastique. Il est préférable d'utiliser des pompes auto-amorçantes et d'éviter les pompes submersibles, qui finissent par se corroder et tomber en panne. Si l'on utilise plusieurs petites pompes au lieu d'une seule pompe de grande capacité, l'écoulement de la solution est assuré, même si une pompe tombe en panne. On peut aussi avoir un interrupteur manométrique qui déclenche une pompe de réserve si la pompe principale tombe en panne et s'il y a une baisse de pression dans le système. Pour parer aux pannes totales de courant, il est essentiel d'avoir un groupe électrogène de secours dans les grandes installations ou dans les régions sujettes à des pannes de courant fréquentes et prolongées. Dans le cas d'une petite installation, on peut éviter le coût supplémentaire d'un groupe électrogène en reliant le système NFT au réseau d'eau principal à l'aide d'un clapet anti-retour. De cette façon, les plants pourront au moins recevoir de l'eau pendant une panne de courant, mais, dans ce cas, il est essentiel d'avoir un bon drainage. Toutefois, ce n'est là qu'une précaution supplémentaire plutôt qu'un moyen de première intervention en cas de panne de courant ou de panne de pompe.

La cuve de collecte doit avoir un trop-plein dont la capacité doit correspondre au moins au débit maximal de retour de la solution nutritive à la cuve. L'installation d'un trop-plein peut paraître coûteuse et compliquée, mais c'est une précaution essentielle si l'on désire éviter des inondations catastrophiques en cas d'échec de toutes les autres mesures de sécurité.

Les engrais et l'acide sont normalement ajoutés à la cuve sous forme de solutions-mères concentrées. Les pompes de dosage utilisées pour injecter les éléments nutritifs et les acides dans la cuve devraient être résistantes aux substances chimiques, du moins là où elles entrent en contact avec des solutions relativement concentrées. Utiliser deux pompes pour les engrais et une pompe pour l'acide. Leur capacité dépend de l'envergure de l'exploitation, mais la plupart des producteurs ont besoin d'une capacité moyenne de 10 L/h. Les deux pompes utilisées pour l'injection d'engrais doivent être réglables pour qu'on puisse leur faire pomper toutes deux exactement le même volume de liquide. Utiliser les régulateurs des pompes d'injection d'engrais et d'acide pour en contrôler le fonctionnement. Dans les grandes exploitations, il peut être plus économique de substituer aux pompes de dosage des électrovannes pour la régulation du débit gravitaire de la solution-mère. Plusieurs fournisseurs ont maintenant des dispositifs de dosage des éléments nutritifs et de l'acide dans des systèmes clés en mains, mais les producteurs peuvent facilement assembler des systèmes qui répondent à leurs propres besoins, car il est facile de se procurer la plupart des composants nécessaires.

Il faut aussi avoir des régulateurs de la salinité et du pH. Un régulateur de salinité mesure et ajuste la conductivité électrique (CE) de la solution, ce qui est le meilleur moyen d'établir la teneur en sels. Cette

méthode repose sur le principe que l'électricité conduite entre deux électrodes immergées dans une solution à une distance fixe l'une de l'autre (généralement 1 cm) est proportionnelle à la concentration ionique totale (sels) de cette solution. Le régulateur de la conductivité électrique contrôle et affiche la conductivité de la solution nutritive et met en marche la pompe de dosage quand la conductivité mesurée passe au-dessous d'une valeur pré-établie, et l'arrête quand la valeur mesurée revient au niveau pré-établi. La conductivité électrique est généralement mesurée en micro-Siemens par centimètre (µS/cm) ou en micromho par centimètre (µmho/cm). On utilise parfois d'autres unités, mais la conversion est simple : 1 milli-Siemens (mS) = 1 millimho (mmho) = 1 000 micro-Siemens (µS) = 1 000 micromhos (µmho) = 10 unités de facteur de conductivité. Le centimètre est généralement omis, mais sous-entendu. Les capteurs utilisés pour mesurer la conductivité sont enrobés dans du plastique, c'est-à-dire qu'ils sont solides et n'exigent qu'un entretien minimal.

Il existe deux types principaux de capteurs de conductivité : le capteur immergé, qui est suspendu dans la solution et convient aux petites exploitations, et le capteur intégré, qui est installé dans la canalisation. Dans ce dernier cas, une boucle d'échantillonnage retourne directement à la cuve de collecte une partie de la solution sortant de la pompe de circulation principale une fois qu'elle aura traversé le capteur de conductivité. La conductivité électrique d'une solution augmente de 2 % environ chaque fois que la température s'élève d'un degré Celsius. Le régulateur de conductivité doit donc avoir un compensateur automatique de température, dont sont maintenant dotés la plupart des régulateurs de conductivité. Il est difficile de recommander un réglage optimal de conductivité pour le régulateur de salinité, parce que le réglage varie en fonction du cultivar, de la saison, du stade de croissance et de la qualité de l'eau. Mesurer d'abord la conductivité électrique de l'eau (valeur x) et régler le régulateur de salinité à x + 1 500 µS. Une solution nutritive équilibrée qui convient à la plupart des plants a une conductivité de 1 500 µS environ. Quand l'eau utilisée contient plus d'éléments nutritifs que n'en exigent les plants ou quand les apports d'engrais ne sont pas proportionnels aux quantités assimilées par les plants, il se produit inévitablement une accumulation de certains éléments nutritifs, notamment de calcium (provenant d'une eau dure), de sulfate (provenant d'engrais), de sodium et de chlore (provenant d'une eau saline) et d'autres encore peut-être. Dans ces conditions, la conductivité de fond augmente progressivement, ce qui veut dire qu'il faut augmenter proportionnellement le réglage de conductivité du régulateur de salinité pour maintenir un apport satisfaisant d'éléments nutritifs. Il n'existe malheureusement aucune méthode simple et pratique de surveiller les changements de la conductivité de fond. Il faut donc jeter périodiquement la solution nutritive et introduire une nouvelle solution dans le système.

La fréquence du renouvellement de la solution dépend du stade de croissance et de la saison, qui influencent tous deux les quantités

d'éléments nutritifs et d'eau assimilées par les plants. Il est généralement recommandé de changer la solution tous les mois au début de la culture et deux fois par mois plus tard, quand les plants sont adultes ou quand leur croissance semble s'être arrêtée. Quand le producteur aura une plus grande expérience du système, il aura peut-être besoin de changer la solution moins souvent.

Pendant la mise en place d'un système NFT, il est essentiel que le producteur fasse chaque semaine une analyse chimique de la solution nutritive pour assurer la sécurité des plants et pour se familiariser avec le fonctionnement du système. Quand il aura plus d'expérience, le producteur pourra analyser la solution moins souvent, par exemple deux fois par mois. Le pH de la solution nutritive exerce lui aussi une grande influence sur la croissance des plants. Il faut donc le surveiller continuellement et s'assurer qu'il reste dans une gamme de 5,5 à 6,5. Éviter de le laisser passer au-dessous de 5. Un pH inférieur à 4 endommage la plupart des cultures. Par contre, quand le pH dépasse 6,5 environ, l'assimilabilité d'oligo-éléments ou d'éléments secondaires (à l'exception du molybdène) diminue. Il faut donc fixer le pH maximal voulu de la solution. Si la principale source d'azote est le nitrate et que le pH de l'eau est élevé (>7,0), le pH de la solution augmente au cours de la culture. On peut utiliser un système de régulation qui comprend un pH-mètre et une pompe de dosage qui ajoute un acide, généralement de l'acide phosphorique ou nitrique. Toutefois, si une part importante de l'azote est fournie sous forme d'ammoniac et que l'eau ait un faible pouvoir tampon, le pH peut passer au-dessous de la valeur minimale acceptable, et il peut alors être nécessaire d'ajouter une base comme de la soude caustique pour ramener le pH à une valeur acceptable. Diluer l'acide concentré dans un rapport de 1 à 10 ou, de préférence, de 1 à 20, avant de l'utiliser. La concentration exigée varie en fonction de la capacité de la pompe de dosage ou de l'électrovanne et de la capacité de la cuve de collecte. Dans le cas des grandes installations, il est recommandé de demander conseil à un ingénieur chimiste spécialisé dans la mise au point de méthodes de stockage et de manutention des produits chimiques dangereux.

ATTENTION : Les acides et les bases peuvent causer de graves brûlures quand on les manipule de façon imprudente. **Il faut toujours porter des vêtements, un masque et des verres de protection** quand on s'en sert. Pour diluer des produits chimiques concentrés, **il faut toujours ajouter l'acide ou la base à l'eau.** Il ne faut jamais ajouter l'eau à un acide concentré ou à une base concentrée, parce que la solution peut surchauffer et exploser, et causer des brûlures graves.

Il existe une grande variété de dispositifs de sécurité et de précautions à prendre pour parer à une panne des régulateurs de pH et de salinité. On

installe souvent un système de minuterie qui peut neutraliser l'un ou l'autre des régulateurs et empêcher l'ajout d'engrais ou d'acide à une solution au-delà de la durée normale prévue. On peut aussi utiliser de petits réservoirs pour les solutions-mères d'engrais et d'acide, de sorte que les plants ne pourront être endommagés si la totalité de ces réservoirs se vide dans la cuve de collecte. L'inconvénient de cette méthode est qu'il faut remplir régulièrement ces petits réservoirs.

Les expériences menées par le Glasshouse Crops Research Institute (GCRI) de Littlehampton (Angleterre) montrent que les plants cultivés dans un système NFT peuvent tolérer une vaste gamme de concentrations d'éléments nutritifs. Une étude de la culture des tomates, par exemple, a montré qu'il n'y a aucune baisse sensible des rendements quand la teneur en azote (sous forme de NO_3^-) passe de 320 à 10 ppm, dans la mesure où la concentration reste toujours constante. Dans une exploitation commerciale, il est toutefois préférable d'avoir des concentrations moyennes en éléments nutritifs, parce que cela garantit un apport suffisant d'éléments nutritifs.

Le tableau 27 résume les concentrations optimales d'éléments nutritifs recommandées pour les solutions utilisées dans un système NFT. Ces recommandations générales s'inspirent de l'expérience des producteurs commerciaux et des recherches effectuées au GCRI.

Tableau 27 Concentrations visées d'éléments nutritifs dans un système de culture NFT

Élément	Minimum[a] (pH 5,5, CE 1800 µS)	Optimum (pH 6,0, CE 2000–2500 µS)	Maximum (pH 6,5, CE 3500 µS)
Azote ($N0_3$)	50	150–200	300
Azote (NH_4)	5	10–15	20
Phosphore	20	50	200
Potassium	100	300–500	800
Calcium	125	150–300	400
Magnésium	25	50	100
Fer	1,5	6	12
Manganèse	0,5	1	2,5
Cuivre	0,05	0,1	1
Zinc	0,05	0,5	2,5
Bore	0,1	0,3–0,5	1,5
Molybdène	0,01	0,05	0,1
Sodium	†	†	250
Chlore	†	†	400
Soufre	–	50–200	–

[a] Les concentrations minimales indiquées ici doivent être considérées comme le seuil approximatif de la gamme recommandée. Elles sont supérieures aux niveaux où se manifestent les symptômes de la carence

† Le moins possible.

La composition recommandée des solutions-mères d'engrais et d'acide varie en fonction de l'eau utilisée. Les concentrations d'engrais indiquées dans le tableau 28 s'appliquent aux régions où l'eau est modérément dure, c'est-à-dire où l'alcalinité dépasse l'équivalent de 100 ppm de carbonate de calcium.

Quand l'analyse régulière de la solution nutritive montre que du calcium s'est accumulé dans la solution, il peut être nécessaire de réduire la proportion de nitrate de calcium dans la solution-mère A. Pour chaque kilogramme de nitrate de calcium omis dans la solution A, augmenter l'apport de nitrate de potassium de 0,86 kg pour compenser la perte de NO_3^- causée par la réduction du nitrate de calcium et réduire de 0,74 kg l'apport de sulfate de potassium pour compenser l'augmentation de potassium causée par l'ajout du nitrate de potassium. Pour ne pas avoir à ajouter de nitrate de calcium, il faut que l'eau utilisée contienne suffisamment de calcium, c'est-à-dire plus de 120 ppm.

Par contre, là où l'eau utilisée a une alcalinité inférieure à l'équivalent de 100 ppm de carbonate de calcium, il faut ajouter du nitrate de calcium dans la solution-mère A. La solution nutritive est alors celle qui est indiquée dans le tableau 29.

On peut modifier les concentrations d'engrais et d'acide indiquées dans les tableaux 28 et 29 afin d'ajouter dans la solution-mère A une partie ou la totalité du nitrate de potassium, ce qui peut être souhaitable quand on utilise peu de nitrate de calcium. De plus, quand on connaît par expérience les besoins d'acide, on peut en ajouter une partie (mais uniquement sous forme d'acide nitrique) dans les solutions-mères A et B. Cette méthode offre le double avantage de prévenir la précipitation dans les solutions-mères A et B, et de permettre de tenir compte de la teneur en azote de l'acide nitrique dans la préparation des solutions-mères. En fait, on peut regrouper les engrais de diverses façons en solutions-mères différentes, à condition de garder le calcium séparé des phosphates et des sulfates.

Les formules données aux tableaux 28 et 29 montrent parfaitement comment varier la composition des concentrés nutritifs à des fins particulières. Les producteurs débutants qui ne peuvent pas ou ne désirent pas préparer leurs propres solutions-mères peuvent acheter des mélanges nutritifs commerciaux. Vu leur vaste champ d'application, ces produits ne sont peut-être pas le choix idéal pour chaque culture, mais ils donnent en général de bons résultats. Toutefois, les producteurs commerciaux qui cultivent une grande partie de leurs concombres dans un système NFT doivent s'efforcer d'obtenir les engrais de base et de les mélanger eux-mêmes pour donner aux plants une solution nutritive optimale basée sur les résultats des recherches les plus récentes. Le tableau 30 présente les recommandations les plus récentes pour la fertilisation des concombres cultivés dans un système NFT.

Tableau 28 Composition de la solution fertilisante pour les systèmes de culture NFT avec de l'eau dure[a]

Solution-mère A (Volume total 1000 L)		Solution-mère B (Volume total 1000 L)		Solution-mère C (Volume total 1000 L)	
Élément	Quantité	Élément	Quantité	Élément	Quantité
Nitrate de calcium	50 kg	Nitrate de potassium	80 kg	Acide nitrique (67 %)	54 L
		Sulfate de potassium	40 kg	Acide phosphorique (85 %)	24 L
		Sulfate de magnésium	60 kg		
		Nitrate d'ammonium	0,6 kg		
		Chélate de fer (15 % Fe)	3,0 kg		
		Sulfate de manganèse (25 % Mn)	0,4 kg		
		Acide borique (14 % B)	0,24 kg		
		Sulfate de cuivre (25 % Cu)	80 g		
		Sulfate de zinc (23 % Zn)	40 g		
		Molybdate d'ammonium (57 % Mo)	10 g		

[a] Mis à part l'acide phosphorique dans la solution-mère C, aucun engrais phosphaté n'est inclus. Là où l'eau n'est pas particulièrement dure et où les besoins d'acide sont donc faibles, inclure 1,5 kg de phosphate monopotassique dans la solution-mère B et réduire de 4 à 3 kg la quantité de sulfate de potassium.

Nota : Si l'on suppose un taux de dilution de 1:100 pour les solutions-mères A et B, les concentrations théoriques d'éléments nutritifs dans la solution diluée circulant dans le système NFT sont les suivantes :

Élément nutritif	(ppm)
Azote*	192
Phosphore†	–
Potassium	490
Magnésium	59
Calcium‡	85
Fer	4,5
Manganèse	1
Bore	0,34
Cuivre	0,20
Zinc	0,09
Molybdène	0,05

* L'acide nitrique de la solution–mère C fournit de l'azote supplémentaire.

† L'acide phosphorique de la solution-mère C fournit une certaine quantité de phosphore.

‡ On n'a pas tenu compte de la teneur en calcium de l'eau utilisée.

Tableau 29 Composition de la solution fertilisante pour les systèmes de culture NFT avec de l'eau douce

Solution-mère A (Volume total 1000 l)		Solution-mère B[a] (Volume total 1000 L)		Solution-mère C (Volume total 1000 L)	
Élément	Quantité	Élément	Quantité	Élément	Quantité
Nitrate de calcium	75 kg	Nitrate de potassium	90,0 kg	Acide nitrique (85 %)	89 L
		Phosphate monopotassique	30,0 kg		
		Sulfate de magnésium	60,0 kg		
		Chélate de fer (15 % Fe)	3,0 kg		
		Sulfate de manganèse (25 % Mn)	0,4 kg		
		Acide borique (14% B)	0,24 kg		
		Sulfate de cuivre (25 % Cu)	80 g		
		Sulfate de zinc (23 % Zn)	40 g		
		Molybdate d'ammonium (57 % Mo)	10 g		

[a] Il peut être nécessaire d'acidifier légèrement la solution-mère B à l'aide d'une petite quantité d'acide nitrique (20 mL) pour éviter la précipitation de sels comme le phosphate de magnésium.

Nota : Si l'on suppose un taux de dilution de 1:100 pour les solutions-mères A et B, les concentrations théoriques d'éléments nutritifs dans la solution diluée circulant dans le système NFT sont les suivantes :

Élément nutritif	(ppm)
Azote*	214
Phosphore	68
Potassium	434
Magnésium	59
Calcium†	128
Fer	4,5
Manganèse	1,0
Bore	0,34
Cuivre	0,20
Zinc	0,09
Molybdène	0,05

* L'acide nitrique de la solution-mère C fournit de l'azote supplémentaire, mais en faibles quantités, parce que la quantité d'acide nécessaire à la régulation du pH de l'eau douce est bien inférieure à celle dont on a besoin dans le cas de l'eau dure.

† On n'a pas tenu compte de la teneur en calcium de l'eau utilisée.

Tableau 30 Concentrations nutritives recommandées pour la culture des concombres dans une solution NFT

Solution-mère A (Volume total 1000 L)		Solution-mère B (Volume total 1000 L)	
Élément	Quantité	Élément	Quantité
Nitrate de calcium	44,4 kg	Phosphate monopotassique	22,0 kg
Nitrate de potassium	62,7 kg	Sulfate de magnésium	50,0 kg
Nitrate d'ammonium	5,0 kg	Chélate de fer (13 % Fe)[a]	1,0 kg
		Sulfate de manganèse (25 % Mn)[a]	250,0 g
		Acide borique (14 % B)[a]	90,0 g
		Sulfate de cuivre (25 % Cu)[a]	30,0 g
		Sulfate de zinc (23 % Zn)[a]	35,0 g
		Molybdate d'ammonium (57 % Mo)[a]	8,0 g

Nota :

- Préparer la solution finale en ajoutant des volumes égaux des deux solutions-mères dans l'eau jusqu'à ce qu'on obtienne la conductivité électrique recommandée de 2 200 mS/cm dans la solution finale. Ajuster le pH à 6,2 en ajoutant de l'acide phosphorique (si l'éclairage est faible) ou de l'acide nitrique (si l'éclairage est bon). Il est préférable que les solutions-mères soient mélangées et le pH ajusté automatiquement par les régulateurs de la conductivité électrique et du pH.
- Pour une nouvelle culture, commencer avec une conductivité électrique de 1 500 mS/cm et augmenter progressivement jusqu'à 2 200 mS/cm sur une période d'une semaine.
- On suppose que l'eau utilisée a une conductivité électrique de base de 300–600 mS/cm.

Élément nutritif	(ppm)
Nitrate (NO_3–N)	156
Ammonium (NH_4–N)	12
Phosphore	50
Potassium	302
Calcium	84
Magnésium	50
Fer	1,3
Manganèse	0,62
Bore	0,12
Cuivre	0,07
Zinc	0,08
Molybdène	0,03

[a] On peut, si on le préfère, inclure 2 kg du mélange d'oligo-éléments chélatés de Plant Products Ltd., qui fournit les concentrations suivantes d'oligo-éléments : 1,4 ppm de Fe, 0,4 ppm de Mn, 0,08 ppm de Zn, 0,26 ppm de B, 0,02 ppm de Cu et 0,012 ppm de Mo.

Attention :

Le système NFT **n'est pas recommandé pour la culture à long terme des concombres** en raison de pertes fréquentes et inexpliquées de récolte causées par la mort généralisée des racines. Consultez votre conseiller horticole local avant de vous lancer dans la culture des concombres sur film nutritif.

TABLE DE CONVERSIONS

Pour convertir une unité impériale en unité métrique, il faut multiplier le nombre par le facteur de conversion.

Pour convertir une unité métrique en unité impériale, il faut diviser le nombre par le facteur de conversion.

Unités impériales	Facteurs de conversion	Unités métriques	
Longueur			
pouce	25	millimètre	(mm)
pied	30	centimètre	(cm)
verge	0,9	mètre	(m)
mille	1,6	kilomètre	(km)
Surface			
pouce carré (po^2)	6,5	centimètre carré	(cm^2)
pied carré (pi^2)	0,09	mètre carré	(m^2)
verge carré (v^2)	0,836	mètre carré	(m^2)
mille carré	259	hectare	(ha)
acre	0,40	hectare	(ha)
Volume			
pouce cube	16	centimètre cube	(cm^3, mL, cc)
pied cube	28	décimètre cube	(dm^3)
verge cube	0,8	mètre cube	(m^3)
once liquide	28	millilitre	(mL)
chopine	0,57	litre	(L)
pinte	1,1	litre	(L)
gallon (R.-U.)	4,5	litre	(L)
gallon (É.-U.)	3,8	litre	(L)
Masse			
once	28	gramme	(g)
livre	0,45	kilogramme	(kg)
tonne courte (2000 lb)	0,9	tonne	(t)
Pression			
livres par pouce carré	6,9	kilopascal	(kPa)
Puissance			
cheval-vapeur	746	watt	(W)
	0,75	kilowatt	(kW)
Vitesse			
pieds par seconde	0,30	mètres par seconde	(m/s)
milles par heure (mph)	1,6	kilomètres par heure	(km/h)
Agriculture			
gallons par acre	11,23	litres par hectare	(L/ha)
pintes par acre	2,8	litres par hectare	(L/ha)
chopines par acre	1,4	litres par hectare	(L/ha)
onces liquides par acre	70	millilitres par hectare	(mL/ha)
tonnes par acre	2,24	tonnes par hectare	(t/ha)
livres par acre	1,12	kilogrammes par hectare	(kg/ha)
onces par acre	70	grammes par hectare	(g/ha)
plants par acre	2,47	plants par hectare	
Température			
degrés Fahrenheit	(°F − 32) x 0,56 = °C ou °F = 1,8 (°C) + 32	degrés Celsius	(°C)

Imprimé sur du papier recyclé